

ВЕСТНИК НГАУ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
VESTNIK NGAU NOVOSIBIRSK STATE AGRARIAN UNIVERSITY



№3(68)
2023

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК НГАУ

Новосибирский
государственный
аграрный
университет

Научный журнал

№ 3(68)2023

Н.Н. Кочнев
главный редактор,
доктор биологических наук,
профессор

Учредитель:
ФГБОУ ВО «Новосибирский
государственный
аграрный университет»

Основан
в декабре 2005 года

Зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи и массовых
коммуникаций

ПИ № ФС 77-35145
29.01.2009.

Материалы издания
выборочно включаются
в международные базы данных
Agris, Ulrich's Periodicals Directory

Электронная версия журнала
на сайте: www.elibrary.ru

Адрес редакции и издателя:
630039, г. Новосибирск,
ул. Добролюбова, 160, каб. 106
журнал «Вестник НГАУ»
(Новосибирский государственный
аграрный университет)
Телефоны: +7 (383) 264-23-62;
+7 (383) 264-25-46 (факс)
E-mail: vestnik.nsau@mail.ru

Подписной индекс издания 94091

Тираж 500 экз.

Редакционный совет:

Рудой Е.В. – д-р экон. наук, чл.-корр. РАН., ректор ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, председатель редакционной коллегии (Новосибирск, Россия)

Кочнев Н.Н. – д-р биол. наук, проф., профессор кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, главный редактор (Новосибирск, Россия)

Камалдинов Е.В. – д-р биол. наук, доцент, зам. главного редактора (Новосибирск, Россия)

Члены редколлегии:

Абрамов Н.В. – д-р с.-х. наук, проф., зав. кафедрой почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВО Государственный аграрный университет Северного Зауралья (Тюмень, Россия)

Беляев А.А. – д-р с.-х. наук, проф., зав. кафедрой защиты растений ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Буджапов Л.В. – д-р биол. наук, директор БурНИИСХ СО РАН (Улан-Удэ, Россия)

Булашев А.К. – д-р вет. наук, профессор кафедры биотехнологии и микробиологии Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина (Нур-Султан, Казахстан)

Бямбаа Б. – д-р вет. наук, академик Монгольской академии наук, президент Монгольской академии аграрных наук (Улан-Батор, Монголия)

Власенко Н.Г. – д-р биол. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник СибНИИЗиХ СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Вышегуров С.Х. – д-р с.-х. наук, проф., зав. кафедрой ботаники и ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Галеев Р.Р. – д-р с.-х. наук, профессор кафедры растениеводства и кормопроизводства ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Гамзиков Г.П. – д-р биол. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник НИЧ ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Главендекич М.М. – д-р биотехн. наук, профессор кафедры ландшафтной архитектуры Университета г. Белграда (Белград, Сербия)

Гончаров Н.П. – д-р биол. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник ФИЦ ИЦИГ СО РАН (Новосибирск, Россия)

Добровотворская Н.И. – д-р с.-х. наук, гл. науч. сотрудник СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Донченко А.С. – д-р вет. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (Новосибирск, Россия)

Донченко Н.А. – д-р вет. наук, чл.-корр. РАН, руководитель ИЗВСИДВ СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Дубовский И.М. – д-р биол. наук, зав. лабораторией биологической защиты и биотехнологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Жучаев К.В. – д-р биол. наук, проф., зав. кафедрой разведения, кормления и частной зоотехнии, декан биолого-технологического факультета ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Кауфман О. – д-р аграр. наук, профессор Гумбольдтского университета, факультет естественных наук, Институт сельского хозяйства и садоводства им. Альбрехта Даниэля Тзера, почетный доктор ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Берлин, Германия)

Кашеваров Н.И. – д-р с.-х. наук, акад. РАН, руководитель СибНИИ кормов СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Коуржил Я. – Ph. D., профессор лаборатории искусственного размножения рыб и интенсивной аквакультуры факультета рыбоводства и охраны вод Южно-Чешского университета (Чешские Будевеице, Чехия)

Кочетов А.В. – д-р биол. наук, акад. РАН, директор ФИЦ ИЦИГ СО РАН (Новосибирск, Россия)

Магер С.Н. – д-р биол. наук, проф., руководитель СибНИПТИЖ СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Мейсснер Р. – д-р техн. наук, профессор кафедры управления водообеспечением, Институт сельскохозяйственных наук и проблем питания в Мартин-Лютер университете (Халле-Виттенберг, Германия)

Ноздрин Г.А. – д-р вет. наук, проф., профессор кафедры фармакологии и общей патологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Нургазиев Р.З. – д-р вет. наук, профессор, акад. НАН КР, ректор КНАУ им. К.И. Скрябина (Бишкек, Кыргызстан)

Петухов В.Л. – д-р биол. наук, проф., профессор кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Поповски З. – д-р аграр. наук, профессор кафедры биохимии и генной инженерии Университета Св. Кирилла и Методия (Скопье, Северная Македония)

Солошенко В.А. – д-р с.-х. наук, акад. РАН, гл. науч. сотрудник СибНИПТИЖ СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Шарков И.Н. – д-р биол. наук, гл. науч. сотрудник СФНЦА РАН (Новосибирск, Россия)

Шейко И.П. – д-р с.-х. наук, акад. НАН Республики Беларусь, первый зам. ген. директора РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству» (Жодино, Беларусь)

Технический редактор *Мищенко О.Н.*

Редактор *Коробкова Т.К.*

Компьютерная верстка *Колбин В.С.*

Переводчик *Рюмкина И.Н.*

Дата выхода в свет 4 октября 2023 г. Свободная цена.
Формат 60 × 84 1/8. Объем 31,5 уч.-изд. л. Бумага офсетная.
Гарнитура «Times New Roman». Заказ № 2610.

Отпечатано в ИЦ НГАУ «Золотой колос»
630039, РФ, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, каб. 106.
Тел. +7 (383) 267-09-10. E-mail: 213-45-39@mail.ru

VESTNIK NGAU

**Novosibirsk
State
Agrarian
University**

Scientific journal

No. 3(68)2023

**H.H. Kochnev
Editor-in-Chief,
Doctor of Biological Sc.
Professor**

**The founder is Federal State
State-Funded
Educational Institution
of Higher Education
“Novosibirsk State
Agrarian University”**

**The journal is based
in December, 2005**

**The journal is registered in the Federal
Service for Supervision in the Sphere
of Communications, Information
Technologies and Mass Media
Certificate PI No. FS 77-35145
29.01.2009.**

**The materials are included
into the database Agris,
Ulrich's Periodicals Directory
on a selective basis**

**Russian Science
Citation Index**

**E-journal is found at:
www.elibrary.ru**

Address:
630039, Novosibirsk,
160 Dobrolyubova Str., office 106
VESTNIK NGAU
of Novosibirsk State Agrarian University
Tel: +7 (383) 264-23-62;
Fax: +7 (383) 264-25-46
E-mail: vestnik.nsau@mail.ru

Subscription index is 94091

Circulation is 500 issues

Editors:

Rudoi E.V. – Dr. of Economic Sc., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Rector of NSAU, the Chairman of the Editorial Board, (Novosibirsk, Russia)
Kochnev N.N. – Doctor of Biological Sc., Professor, the Editor-in-Chief, Professor at the Chair of Veterinary Genetics and Biotechnology at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Kamaldinov E.V. – Dr. of Biological Sc., Associate Professor, the Deputy of Editor-in-Chief, (Novosibirsk, Russia)

Editorial Board:

Abramov N.V. – Dr. of Agricultural Sc., Professor, the Head of the Chair of Soil Science and Agrochemistry at Northern Trans-Ural State Agricultural University (Tyumen, Russia)
Beliaev A.A. – Dr. of Agricultural Sc., Professor, the Head of the Chair of Plant Protection at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Budazhapov L.V. – Dr. of Biological Sc., the Head of Buryat Research Institute of Agriculture SD RAS (Ulan-Ude, Russia)
Bulashev A.K. – Doctor of Veterinary Sc., Professor at the Chair of Biotechnology and Microbiology at Seifulin Kazakh Agrotechnical University (Nur-Sultan, Kazakhstan)
Byambaa B. – Doctor of Veterinary Sc., Academician of the Academy of Sciences in Mongolia, President of Mongolian Academy of Agricultural Sciences (Ulaan Baator, Mongolia)
Vlasenko N.G. – Dr. of Biological Sc., Academician of Russian Academy of Science, Senior Research Fellow, Siberian Research Institute of Farming and Agricultural Chemicalization (Novosibirsk, Russia)
Vyshegurov S.Kh. – Dr. of Agricultural Sc., Professor, the Head of the Chair of Botany and Landscape Architecture at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Galeev R.R. – Dr. of Agricultural Sc., Professor of the Chair of Crop and Feed Production at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Gamzikov G.P. – Dr. of Biological Sc., Academician of Russian Academy of Sciences, Chief Research Fellow at the Department of Science and Research of Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Glavendekich M.M. – Dr. Biological Sc., Professor at the Chair of Landscape Architecture at the University of Belgrade (Belgrade, Serbia)
Goncharov N.P. – Dr. of Biological Sc., Academician of Russian Academy of Sciences, Leading Research Fellow at Research Institute of Cytology and Genetics (Novosibirsk, Russia)
Dobrotvorskaia N.I. – Dr. of Agricultural Sc., Leading Research Fellow at Siberian Federal Research Centre for Agricultural Biotechnology RAS (Novosibirsk, Russia)
Donchenko A.S. – Dr. of Veterinary Sc., Academician of Russian Academy of Sciences, Leading Research Fellow at Siberian Federal Research Centre of Agriculture and Biotechnology (Novosibirsk, Russia)
Donchenko N.A. – Dr. of Veterinary Sc., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head at the Institute of Experimentally Veterinary Medicine of Siberia and Far East, at Siberian Federal Research Centre of Agriculture and Biotechnology (Novosibirsk, Russia)
Dubovskii I.M. – Dr. of Biological Sc., the Head of the Laboratory of Biological Protection and Biotechnology at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Zhuchayev K.V. – Dr. of Biological Sc., Professor, the Head of the Chair of Animal Husbandry, Dean of Biology-Technological Faculty at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Kaufmann O. – Doctor of Agricultural Sc., Professor at Humboldt University, Faculty of Life Sciences, Albrecht Daniel Thaer - Institute of Agricultural and Horticultural Sciences, Honorary Doctor of Novosibirsk State Agrarian University (Berlin, Germany)
Kashevarov N.I. – Dr. of Agricultural Sc., Academician of Russian Academy of Sciences, Head of Siberian Federal Research Institute of Feed SFSCA RAS (Novosibirsk, Russia)
Kouril Ja. – Ph. D., Professor of the Laboratory of Artificial Fish Propagation and Intensive Aquaculture at the Faculty of Fisheries and Protection of Waters at University of South Bohemia (Ceske Budejovice, Czech Republic)
Kochetov A.V. – Dr. of Biological Sc., Academician of the Russian Academy of Sciences, the Head of Siberian Federal Research Centre for Agricultural Biotechnology (Novosibirsk, Russia)
Mager S.N. – Dr. of Biological Sc., Professor, the Head of Siberian Research Institute of Animal Husbandry (Novosibirsk, Russia)
Meissner R. – Dr. of Technical Sc., Professor at the Department of Water Management, Institute of Agricultural Sciences and Nutrition at Martin Luther University (Halle-Wittenberg, Germany)
Nozdin G.A. – Dr. of Veterinary Sc., Professor, Professor at the Chair of Pharmacology and General Pathology at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Nurgaziev R.Z. – Dr. of Veterinary Sc., Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Rector of Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Skryabin (Bishkek, Kyrgyzstan)
Petukhov V.L. – Doctor of Biological Sc., Professor, Professor at the Chair of Veterinary Genetics and Biotechnology at Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Popowski Z. – Doctor of Agricultural Sc., Professor at the Chair of Biochemistry and Genetic Engineering at Ss. Cyril and Methodius University (Skopje, Northern Macedonia)
Soloshenko V.A. – Doctor of Agricultural Sc., Academician of Russian Academy of Sciences, Leading Research Fellow at Siberian Research Institute of Animal Husbandry (Novosibirsk, Russia)
Sharkov I.N. – Dr. of Biological Sc., the Head of Siberian Research Institute of Farming and Chemicalization Siberian Federal Research Centre for Agricultural Biotechnology RAS (Novosibirsk, Russia)
Sheiko I.P. – Doctor of Agricultural Sc., Academician of National Academy of Sciences of Belarus, Vice-Head of Animal Husbandry Research Institute at National Academy of Sciences of Belarus (Zhodino, Belarus)

Typing: *Mishchenko O.H.*
Editor *T.K. Korobkova*
Desktop publishing: *Kolbin V.S.*
Translator: *Ryumkina. I.N.*

Date of publication October 4 2023. Free price.
Size is 60 × 84 1/8. Volume contains 31,5 publ. sheets. Offset paper is used.
Typeface "Times New Roman" is used. Order no. 2610.

Printed in "Zolotoy Kolos" Publ. of Novosibirsk State Agrarian University
160 Dobrolyubova Str., office 106, 630039 Novosibirsk. Tel.: +7 (383) 267-09-10
E-mail: 2134539@mail.ru

АГРОНОМИЯ

Виноградова Т.А., Кудряшова Т.А., Козьякова Н.Н. Изучение состава сортов льна-долгунца по признакам, определяющим выбор эффективной технологии переработки льнотресты.

Гусейнова Б.М., Магомедов Дж.А., Абдулгамидов М.Д. Комплексная оценка интродуцированного сортифта вишни, возделываемой в условиях предгорной провинции Дагестана

Ермошкина Н.Н., Артёмов Г.В., Давыдова Н.В., Сурначев А.С., Мусинов К.К., Петрова А.А. Влияние осеннего состояния растений озимых зерновых культур на зимостойкость при разных сроках посева

Кожухова Е.В., Семенова Е.В. Семенная продуктивность образцов гороха различного происхождения из коллекции ВИР в условиях Восточной Сибири

Королева Е.В. Изменчивость репродуктивных качеств семян *Clarkia amoena* (Lehm.) A. Nelson & J.F. Macbr.) в зависимости от срока хранения в условиях ex – situ

Маракаева Т.В. Наследуемость элементов продуктивности в гибридных популяциях чечевицы в условиях Омской области

Мурзин А.И., Потапов П.Н., Галеев Р.Р., Потапов Н.А., Потапова С.С. Сравнительная оценка ранних сортов картофеля и среднеспелого сорта Златка и пути повышения эффективности их семеноводства в лесостепи Приобья

Парфенова Е.С., Шамова М.Г., Жукова М.Н. Агробиологическое изучение коллекции озимой ржи

Петров А.Ф., Галеев Р.Р., Гаврилец Н.В., Пастухова А.В., Лаврищев И.Е., Боднарчук М.П. Влияние различных форм и доз минеральных азотных удобрений на продуктивность томата в условиях открытого грунта

Сапега В.А., Турсумбекова Г.Ш. Сравнительная оценка урожайного и адаптивного потенциала сортов гороха и сои в условиях лесостепи Северного Зауралья

Сотник А.Я. Взаимосвязь урожайности сортов овса с основными признаками в Приобской лесостепи

Торопова Е.Ю., Селюк М.П., Стецов Г.Я., Трунов Р.И. Колонизация почвенными фитопатогенами колосьев яровой пшеницы в лесостепи Западной Сибири

Тулинов А.Г., Косолапова Т.В. Использование метода ранжирования при создании новых сортов ежи сборной

AGRONOMY

Vinogradova T.A., Kudryashova T.A., Kozyakova N.N. 5
Studying the composition of linen flax variety on the signs determining the choice of an effective flax straw processing technology

Guseynova B.M., Magomedov J.A., Abdulgamidov M.D. 18
Comprehensive evaluation of introduced cherry varieties cultivated in the submontane province of Dagestan

Ermoshkina N.N., Artyomova G.V., Davydova N.V., Surnachev A.S., Musinov K.K., Petrova A.A. 29
Influence of autumn plant condition on cold hardiness of winter cereal crops at different sowing dates

Kozhukhova E.V., Semenova E.V. 43
Seed productivity of pea samples of various origins from the VIR collection in the conditions of Eastern Siberia

Koroleva E.V. 54
Variability of reproductive seed quality in *Clarkia amoena* (Lehm.) A. Nelson & J.F. Macbr.) depending on storage duration under ex-situ conditions

Marakaeva T.V. 66
Inheritance of productivity elements in hybrid populations of lentils in the conditions of Omsk region

Murzin A.I., Potapov P.N., Galeev R.R., Potapov N.A., Potapova S.S. 74
Comparative evaluation of early potato varieties and the mid-season variety Zlatka and ways to improve their seed production efficiency in the forest-steppe of Priobye

Parfenova E.S., Shamova M.G., Zhukova M.N. 82
Agrobiological study of the collection of winter rye

Petrov A.F., Galeev R.R., Gavrillets N.V., Pastukhova A.V., Lavrishev I.E., Bodnaryuk M.P. 93
Influence of different forms and rates of mineral nitrogen fertilizers on tomato productivity in open field conditions

Sapega V.A., Tursumbekova G.Sh. 101
Comparative assessment of yield and adaptive potential of pea and soybean varieties in the conditions of the northern forest-steppe zone of Northern Trans-Urals

Sotnik A.Ya. 111
Interrelationship between yield of oat varieties and key traits in the Priobskaya forest-steppe zone

Toropova E.Yu., Selyuk M.P., Stetsov G.Ya., Trunov R.I. 120
Colonisation of spring wheat spikelets by soil phytopathogens in the Western Siberian forest-steppe

Tulinov A.G., Kosolapova T.V. 129
Use of ranking method in the development of new orchardgrass varieties.

ВЕТЕРИНАРИЯ И ЗООТЕХНИЯ

Грицан А.А., Черепушкина В.С., Хоменко Ю.С., Афонюшкин В.Н., Новик Я.В., Ермакова Л.П. Изучение источников заражения цыплят-бройлеров сальмонеллами с использованием ERIC-ПЦР и реакции агглютинации с флуоресцентно-мечеными антигенами (ИРА)

VETERINARY AND ANIMAL SCIENCES

A Gritsan A.A., Cherepushkina V.S., Khomenko Y.S., Afonyushkin V.N., Novik Ya.V., Ermakova L.P. 138
studying the sources of infection of broiler chickens by salmonella using ERIC-PCR and agglutination reaction with fluorescence-labeled antigens (FLA).

Деева В.С., Дуров А.С., Чысыма Р.Б., Луду Б.М., Кузьмина Е.Е. Полиморфизм групп крови яков в зависимости от окраса шерсти и комолости	Deeva V.S., Durov A.S., Chisyma R.B., Ludu B.M., Kuzmina E.E. Polymorphism of yak blood groups depending on coat color and collection	147
Деменева А.Е., Требухов А.В. Использование в лечении бронхопневмонии телят витаминно-аминокислотного комплекса Витам	Demeneva A.E., Trebukhov A.V. Use of vitamin-amino acid complex in the treatment of bronchopneumonia in calves	160
Джаксыбаева Г.Г., Кочнев Н.Н., Кайниденов Н.Н. Полиморфные варианты гена PIT-1 крупного рогатого скота симментальской и красной степной пород Республики Казахстан	Jaxybayeva G.G., Kochnev N.N., Kaynidenov N.N. Polymorphic variants of the PIT-1 gene in simmental and red steppe cattle of the Republic of Kazakhstan	167
Жучаев К.В., Князев С.П., Ефанова Н.В., Осина Л.М., Баталова С.В. Гомеостаз собак при их кормлении сухим кормом промышленного производства и кормом домашнего приготовления	Zhuchaev K.V., Knyazev S.P., Efanova N.V., Osina L.M., Batalova S.V. Homeostasis of dogs when feeding them with industrially produced dry food and home-made food	176
Исакова М.Н. Биомедицинские аспекты применения бактериоцинов и глицеролатов – возможность использования для лечения мастита у коров	Isakova M.N. Biomedical aspects of the use of bacteriocins and glycerolates – possibility of use for the treatment of mastitis in cows	185
Калашников А.Е., Гостева Е.Р., Щеголков Н.Ф., Ялуга В.Л. Генетические механизмы распознавания бактерий рецепторами врожденного иммунитета крупного рогатого скота	Kalashnikov A.E., Gosteva E.R., Shchegolkov N.F., Yaluga V.L. Genetic mechanisms of bacteria recognition by cattle innate immunity receptors	204
Клемешова И.Ю., Алексеева З.Н., Реймер В.А., Тарабанова Е.В. Нанодистеинаты железа в рационах с активированным кормом для мясояичных цыплят	Klemeshova I.Yu., Alekseeva Z.N., Reimer V.A., Tarabanova E.V. Iron nanocysteineates in diets with activated feed for meat-based chickens	217
Климанова Е.А., Александрова Д.А., Себежко О.И., Куликова С.Г., Гарт В.В. Влияние мутаций в гене FGF-5 на показатели шерсти у овец (обзор)	Klimanova E.A., Aleksandrova D.A., Sebezsko O.I., Kulikova S.G., Garth V.V. Influence of mutations in the FGF-5 gene on wool performance in sheep (review)	225
Кощаева О.С., Рядинская А.А., Лавриненко К.В., Кощаев И.А. Использование природных антиоксидантов в кормлении цыплят-бройлеров	Koshchaeva O.S., Ryadinskaya A.A., Lavrinenko K.V., Koshayev, I.A. Use of natural antioxidants in feeding broiler chickens	236
Кузнецов Ю.Е., Лунегов А.М., Понамарев В.С., Ромашова Е.Б. Физиологические аспекты enteroгепатической циркуляции желчных кислот в контексте определения механизмов возникновения и развития патологий гепатобилиарной системы	Kuznetsov Yu.E., Lunegov A.M., Ponamarev V.S., Romashova E.B. Enterohepatic circulation of bile acids and its role in pathologies of the hepatobiliary system	245
Назаренко А.В., Зайко О.А., Коновалова Т.В., Короткевич О.С., Себежко О.И., Петухов В.Л., Куликова С.Г., Гарт В.В. Влияние генофонда породы на содержание и изменчивость меди в печени свиней	Nazarenko A.V., Zaiko O.A., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Sebezsko O.I., Petukhov V.L., Kulikova S.G., Garth V.V. Influence of the gene pool of the breed on the content and variability of copper in the liver of pigs	262
Рыбин Н.В., Новик Я.В., Лазурина Е.А., Рогожкина Е.Р., Ермакова Л.П. Демодекоз домашних плотоядных животных, встречаемость, предрасположенность, формы проявления болезни	Rybin N.V., Novik I'M IN., Lazurina E.A., Rogozhkina E.R., Ermakova L.P. Demodectosis in domestic carnivores, incidence, predisposition, forms of disease manifestation	272
Самсонова И.Д., Плахова А.А. Опыт оптимизации опыления плодовых культур	Samsonova I.D., Plakhova A.A. Experience in optimizing the pollination of fruit crops	279
Терентьев С.С., Захарова О.И., Бурова О.А., Овсянко Т.В., Спицина С.Ш., Яшин И.В., Блохин А.А. Лаговиральные инфекции зайцев и кроликов: обзор литературы и эпизоотическая ситуация в мире и России	Terentyev S.S., Zakharova O.I., Burova O.A., Ovsyukhno T.V., Spitsina S.Sh., Yashin I.V., Blokhin A.A. Lagovirus infections of hares and rabbits: review of literature and epizootic situation in the World and Russia	287
Функ И.А., Отт Е.Ф. Подбор пробиотических микроорганизмов в состав нового биопрепарата для сельскохозяйственных животных	Funk I.A., Ott E.F. Selection of probiotic microorganisms in the composition of a new biological preparation for farm animals	302
Яковлева Н.С., Абышева А.К., Ноздрин Г.А., Ермакова Л.П. Показатели роста индюшат кросса БИГ-6 при скормливании пробиотического препарата.	Yakovleva N.S., Aбыsheva A.K., Nozdrin G.A., Ermakova L.P. Growth indicators of BIG-6 cross turkey chicken when feeding a probiotic preparation	309
Яшкин А.И., Афанасьева А.И. Использование пробиотических препаратов для повышения продуктивных качеств в козоводстве: обзор.	Yashkin A.I., Afanasyeva A.I. Use of probiotic preparations to increase productive qualities in goats: a review	317

АГРОНОМИЯ

DOI: 10.31677/2072-6724-2023-68-3-5-17

УДК 633. 521: 667. 1. 021

**ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА СОРТОВ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА ПО ПРИЗНАКАМ,
ОПРЕДЕЛЯЮЩИМ ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ
ЛЬНОТРЕСТЫ****Т.А. Виноградова**, старший научный сотрудник**Т.А. Кудряшова**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник**Н.Н. Козьякова**, научный сотрудник*Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия***E-mail:** info.trk@fncl.ru

Ключевые слова: сорт, лен-долгунец, льнотреста, выход и качество волокна, процентомера, признак, технологическое качество, переработка, технология.

Реферат. Представлены результаты определения технологического качества льнотресты при переработке по традиционной технологии: выходу и номеру длинного и короткого волокна, выходу всего волокна и комплексным показателям – процентомерам сортов льна-долгунца различной селекции. Проведен сравнительный анализ фактических значений этих признаков с нормированными, регламентированными в нормах по выходу и качеству волокна из стланцевой льнотресты в среднем, без учета отличительных особенностей сортов. Установлено, что выполнение норм по процентомерам длинного волокна, как основного продукта, полученного из льнотресты различного качества, составляет 69,6–94,0 %, по процентомерам короткого волокна – 102,1–118,7 %. В результате изучения состава сортов по указанным признакам с целью обоснования выбора варианта наиболее рационального использования сырья при переработке выявлены сорта с максимальными и минимальными значениями процентомеров длинного волокна, которые являются основным критерием эффективности работы льноперерабатывающих предприятий. По итогам дифференцированного анализа в разрезе сортов с различным качеством льнотресты рекомендовано применение технологии переработки на длинное и короткое волокно таких сортов, как Дипломат, Алексим, Грант, Вералин, Сюзанна (номер льнотресты 1,00), Сурский, Тост, Тверской, Грант, Лира, Лидер (номер льнотресты 1,50), Сурский, Лидер, Электра, Лира, Тверской, Ленок (номер льнотресты 2,00). Для этих сортов максимальные значения процентомеров длинного волокна находятся в диапазоне 98,0–187,9. Льнотресту сортов, имеющих минимальное значение этого комплексного показателя, целесообразно перерабатывать на однотипное или короткое волокно. К ним относятся следующие сорта льна-долгунца: Томский 18, Универсал, Факел, Электра (низкокачественная льнотреста), Томский 16, А-29, Пралеска (льнотреста среднего качества), Дашковский, Василек, Тост (высококачественная льнотреста). Для них диапазон изменения процентомеров длинного волокна составляет 23,4–152,7. Сделано заключение о необходимости учета отличительных особенностей сортов одновременно с качеством льнотресты, что существенно расширит возможности для обеспечения рентабельной работы предприятий.

**STUDYING THE COMPOSITION OF LINEN FLAX VARIETY ON THE SIGNS
DETERMINING THE CHOICE OF AN EFFECTIVE FLAX STRAW PROCESSING
TECHNOLOGY****T.A. Vinogradova**, Senior Researcher**T.A. Kudryashova**, PhD in Technical Sciences, Leading Researcher**N.N. Kozyakova**, Researcher*Federal Research Center for Fiber Crops, Tver, Russia***E-mail:** info.trk@fncl.ru

Keywords: variety, flax long-stem, flax straw, fibre yield and quality, per centimetres, characteristics, technological quality, processing, technology.

Abstract. The results of determining the technological quality of flax straw during processing using traditional technology are presented: yield and number of long and short fibres, total fibre yield, and complex indicators – per centimetres of flax long-stem varieties of various selections. On average, a comparative analysis of the actual values of these characteristics with the standardised values in the norms for fibre yield and quality from retted flax straw was carried out without considering the distinctive features of the varieties. It was established that compliance with the criteria per centimetres of long fibres, as the main product obtained from flax straw of different quality, ranges from 69.6% to 94.0%, and for per centimetres of short threads from 102.1% to 118.7%. As a result of studying the composition of varieties based on these characteristics to justify the choice of the most rational raw material utilisation option during processing, types with maximum and minimum values per centimetres of long fibres were identified, which are the primary criterion for the efficiency of flax processing enterprises. Based on the results of differentiated analysis by varieties with different qualities of flax straw, it is recommended to use the processing technology for both long and short fibres for such varieties as Diplomat, Alexim, Grant, Veralin, Suzanne (flax straw number 1.00), Sursky, Tost, Tverskoy, Grant, Lyra, Leader (flax straw number 1.50), Sursky, Leader, Electra, Lyra, Tverskoy, Lenok (flax straw number 2.00). For these varieties, the maximum values per centimetre of long fibres range from 98.0% to 187.9. Flax straw of sorts with the minimum value of this complex indicator is advisable to process into uniform or short wool. These include the following flax long-stem varieties: Tomsky 18, Universal, Fakel, Electra (low-quality flax straw), Tomsky 16, A-29, Praleska (medium-quality flax straw), Dashkovsky, Vasilik, Tost (high-quality flax straw). It is concluded that it is necessary to consider the distinctive features of varieties simultaneously with the quality of flax straw, which will significantly expand the possibilities for ensuring the profitable operation of enterprises.

В промышленности первичной обработки лубяных волокон, к которой относится и получение волокна из льнотресты льна-долгунца на льноперерабатывающих предприятиях, основной задачей для достижения оптимальных технико-экономических показателей их работы является выработка максимального объема готовой продукции, характеризующейся хорошим качеством, удовлетворяющим требованиям потребителей [1–3]. Традиционная технология переработки льнотресты предусматривает на выходе технологического процесса получение двух видов волокнистой продукции – длинного, которое, прежде всего, необходимо для текстильной промышленности, и короткого волокна. В последние годы стала активно развиваться диверсификация направлений использования льносырья в других отраслях промышленности, в частности, в строительной, медицинской, оборонной и т.д. В связи с этим успешно внедряются в производство новые технологии переработки стеблевых материалов льна-долгунца с получением однотипного или короткого волокна [4–7]. Однако лен-долгунец – это, в первую очередь, прядильная культура, предназначенная для производства длинного волокна, обладающего хорошим качеством, в объеме, достаточном для потребностей текстильной промышленности [8–10]. Доказано, что технологическая ценность льнотресты, обусловленная выходом и качеством длинного и короткого волокна, а также общим выходом во-

локна, зависит не только от номера льнотресты, но от сорта льна-долгунца [11–13].

В разные годы в XXI в. в льносеющих регионах Российской Федерации возделывалось порядка 35–50 сортов льна-долгунца [14–15]. Из ранее проведенных исследований и хозяйственной деятельности льноперерабатывающих предприятий известно, что отличительные особенности сортов проявляются при переработке льнотресты одного и того же номера в неодинаковом выходе и качестве как длинного, так и короткого волокна [16]. При этом на предприятиях действуют нормы по данным признакам для льнотресты различного качества, в которых дифференциация по сортам не предусмотрена¹.

Современные сорта льна-долгунца отечественной и иностранной селекции характеризуются оптимальным набором хозяйственно-ценных признаков, но их потенциальные возможности при переработке льнотресты в производственных условиях реализуются лишь частично. Доля длинного в общем количестве выработанного волокна в России на отдельных производствах в лучшем случае может составлять 40 %, тогда как в Белоруссии она достигает 50 % и более [17], а в странах дальнего зарубежья превышает 60–70 % [18]. При изучении реализации потенциала сортов, например, в отношении выхода длинного волокна, установлено, что для низкокачественной льнотресты (номер – 0,50), его значения колеблются

¹ Нормы выхода и качества волокна из льняной стланцевой тресты: утв. Приказом от 28.11.2011: ФТБУ «Агентство «Лен».

в пределах 10 %, размах варьирования данных по номеру длинного волокна превышает два номера. Чем выше фактический процент выхода и номер длинного волокна как основного продукта при традиционной технологии переработки льнотресты, тем лучше используется сырье, и тем рентабельнее работает предприятие, поэтому представляет определенный интерес изучение состава сортов с точки зрения изменчивости технологического качества льнотресты различных номеров.

Поскольку основной критерий, определяющий эффективность работы предприятий, – это комплексный показатель, а именно, процентоматера длинного волокна, целесообразно выявить сорта, при переработке льнотресты которых в разрезе номеров по всей оценочной шкале этот показатель будет иметь максимальное значение. По результатам такого исследования, заключающегося в сравнении фактических и нормативных значений признаков, зафиксированных в нормах по выходу и качеству волокна, появится возможность сделать адекватное заключение о пригодности того или иного сорта к переработке льнотресты по одной из двух существующих технологий в промышленности первичной обработки: а) на длинное и короткое волокно; б) на однотипное или короткое волокно.

Исходя из вышеизложенного, цель исследований заключалась в обосновании выбора эффективной технологии переработки льнотресты различных номеров с учетом отличительных особенностей сортов льна-долгунца на основе анализа значимости признаков ее технологического качества.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в период 2001–2022 гг. в обособленном подразделении научно-исследовательского института льна Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального научного центра лубяных культур (ОП НИИЛ ФГБНУ ФНЦ ЛК), (ранее – ВНИИЛ). Основные эксперименты проходили в производственных условиях льносеющих и льноперерабатывающих предприятий, расположенных на территории Костромской, Вологодской, Смоленской, Псковской, Тверской областей. Материалом для

исследований служили льнотреста различного качества сортов отечественной и иностранной селекции и полученное из нее при переработке длинное и короткое волокно.

В сезон заготовок осуществлялась оценка готовности льнотресты к подъему с применением показателя отделяемости волокна от древесины стеблей. Перед формированием рулонов определялось качество льнотресты по ГОСТ 24383-89 Треста льняная. Требования при заготовках. Масса партий льнотресты каждого номера, подготовленная к проведению контрольных разработок, составляла не менее 2 т. Последовательность технологических операций и оценки контролируемых параметров определялась в соответствии со специальной методической программой¹ [19–20].

Переработку льнотресты при проведении контрольных разработок вели при оптимальных регламентированных режимах по ПТЭЛ (Правила технической эксплуатации льнозаводов). Выбор оптимального режима обработки сводился к поискам такого сочетания основных параметров: скорости транспортера сушильной машины СКП-10-ЛУ, частоты вращения мяльных валцов мялки М-1Л, трепальных барабанов в двух секциях трепальной машины ТА-1Л и машины для обработки недотрепа ТЛ-4-2, плотности загрузки, которое обеспечило бы получение максимального выхода длинного качественного волокна, хорошо очищенного от неволокнистых примесей, при условии выполнения плана по пропуску льнотресты. Выход и номер длинного и короткого волокна, а также общий выход волокна определялся из каждой партии льнотресты определенного сорта льна-долгунца. Для этого применялись методы, регламентированные в ГОСТ 24383-89 Треста льняная. Требования при заготовках, ГОСТ 2975-73 Треста льняная. Технические условия, Изменении №4 ГОСТ 10330-76 Лен трепаный. Технические условия, ГОСТ 9394-76 Волокно льняное короткое.

Кроме того, определялась засоренность льнотресты перед обработкой, влажность льнотресты и полученных из нее продуктов по всей технологической цепочке. Полученные данные по определению признаков технологического качества льнотресты в разрезе сортов льна-долгунца обрабатывались с помощью методов математической статистики [21–22].

¹Порядок определения нормативов перевода тресты льна и конопли в волокно: Распоряжение Министерства сельского хозяйства Российской Федерации №23 – р от 10.03.2016 (в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 12.06.2008 №450).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При проведении контрольных разработок льнотресты различных номеров на производственном оборудовании предприятий льносеющих регионов Российской Федерации за период исследований были определены такие признаки ее технологического качества, как выход и номер длинного и короткого волокна, выход всего волокна, а также подсчитаны комплексные показатели – процентнономера полученных продуктов. Объем выборки составил 553 партии льнотресты. В выборке представлена льнотреста практически по всей оценочной шкале ее качества: от номера 0,50 до номера 2,50. Разработке подвергалась льнотреста 35 следующих сортов льна-долгунца, находящихся в производстве: Дашковский, Зарянка, Тверской, Альфа, Томский 16, Томский 17, Лира, Электра, Томский 18, Тост, Лидер, Импульс, Вералин,

Агата, Дипломат, Универсал, Пралеска, Сурский, Цезарь, Александрит, Надежда, Грант, Визит, Атлант, Факел, Алексим, Эскалина, Ленок, А-93, А-29, Могилевский 2, Сюзанна, София, Смолич, Василек. В связи с тем, что критерием эффективности работы предприятий, безусловно, является выполнение плановых объемов по выработке волокна надлежащего качества, был проведен сравнительный анализ средних фактических значений признаков технологического качества по всему набору изучаемых сортов с нормативными, предусмотренными в нормах по выходу и качеству волокна. Наглядное представление о количественных показателях (фактических и нормированных): выходе длинного, короткого и всего волокна без дифференциации по сортам из льнотресты различного качества дают кривые, представленные на рис. 1.

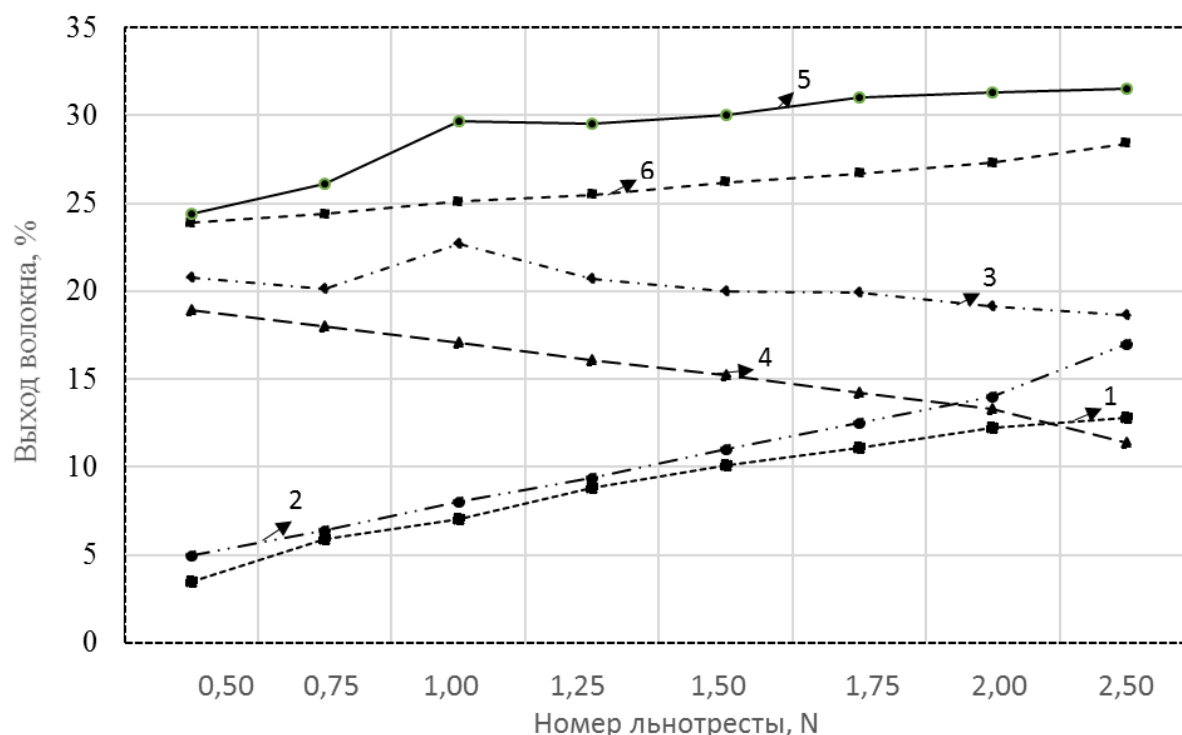


Рис. 1. Фактические и нормированные значения выхода волокна из льнотресты номеров 0,50–2,50:
длинное волокно: 1 – фактические, 2 – нормированные;
короткое волокно: 3 – фактические, 4 – нормированные;
все волокно: 5 – фактические, 6 – нормированные

Actual and standardised values of fibre yield from flax straw numbers 0.50–2.50:
long fibre: 1 – actual, 2 – standardised;
short fibre: 3 – actual, 4 – standardised;
Total thread: 5 – actual, 6 – standardised

Из рис. 1, видно, что плановые показатели по выходу длинного волокна в среднем по всем сортам выполняются на 70,9–91,8 %, а по вы-

ходу короткого наблюдается перевыполнение (110,0–146,9 %), так же как и по выходу всего волокна (102,1–118,3 %).

Результаты оценки качества длинного и короткого волокна (рис. 2) позволяют сделать вывод о том, что плановые показатели по номеру длинного волокна незначительно превышаются для льнотресты, оцененной но-

мерами 0,50–1,25, (выполнение на 100,2–100,9 %), а для льнотресты номеров 1,50–2,50 отмечено небольшое превышение нормированных значений над фактическими (выполнение 93,4–99,2%).

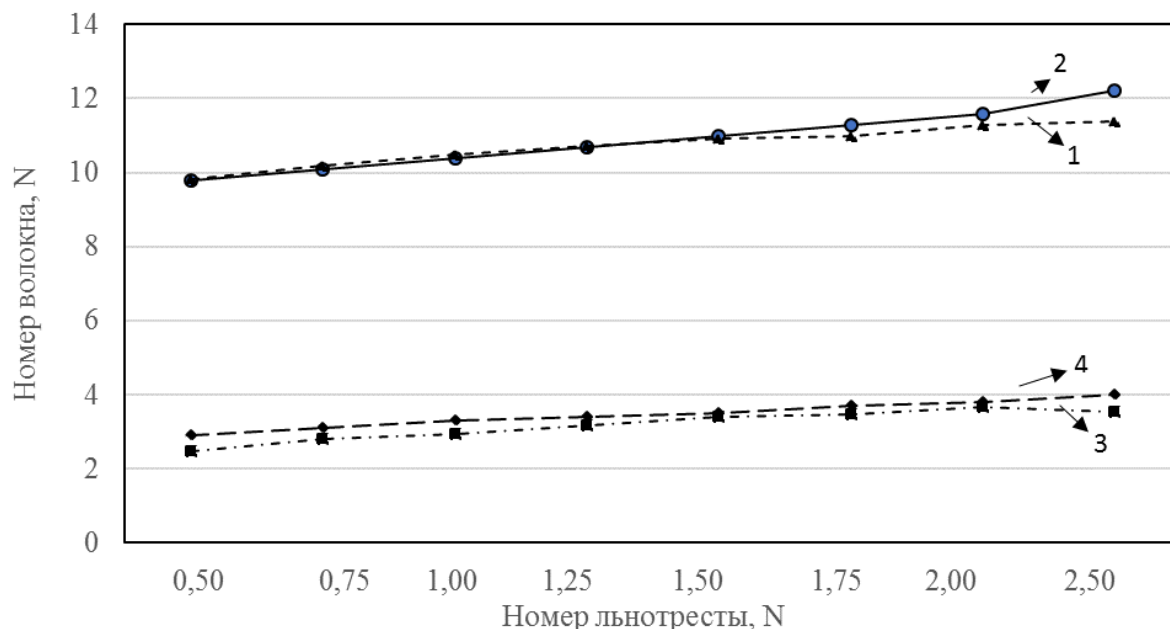


Рис. 2. Фактические и нормированные значения номера волокна, полученного из льнотресты номеров 0,50–2,50: длинное волокно: 1 – фактические, 2 – нормированные; короткое волокно: 3 – фактические, 4 – нормированные

Actual and standardised values of fibre number obtained from flax straw numbers 0.50–2.50:
long fibre: 1 – actual, 2 – standardised;
short fiber: 3 – actual, 4 – standardised

На рис. 3 представлены значения комплексных показателей – процентнономеров длинного, короткого и всего волокна для льнотресты номеров 0,50–2,50.

Самое значительное невыполнение плановых показателей зафиксировано по всей оценочной шкале качества льнотресты у значений процентнономеров длинного волокна (69,6–94,0 %). Фактические процентнономера короткого волокна, кроме номера льнотресты 0,50 (95,2 %), превосходят нормированные в зависимости от ее качества (100,7–146,0 %). По процентнономерам всего волокна наблюдается незначительное превышение фактических значений над нормированными только для номеров льнотресты 1,00 (100,1 %), 1,50 (100,2 %). Для остальных номеров плановые показатели по процентнономерам всего волокна больше фактических на 2,8–16,9 %.

Таким образом, анализ средних значений признаков технологического качества льнотресты показал, что без учета отличительных особенностей сортов, которые не регламентированы в действующих нормах выхода и качества волокна, при традиционной технологии переработки льнотресты практически невозможно получить требуемый объем длинного волокна хорошего качества. Но при анализе возможностей получения длинного волокна как основного маржинального продукта из льнотресты различных номеров в разрезе сортов обнаружены сорта, из льнотресты которых при соблюдении оптимальных режимов обработки в производственных условиях существует высокая вероятность выработки длинного волокна, по количеству и качеству удовлетворяющего требования потребителей. Об этом свидетельствуют данные, приведенные в табл. 1, 2.

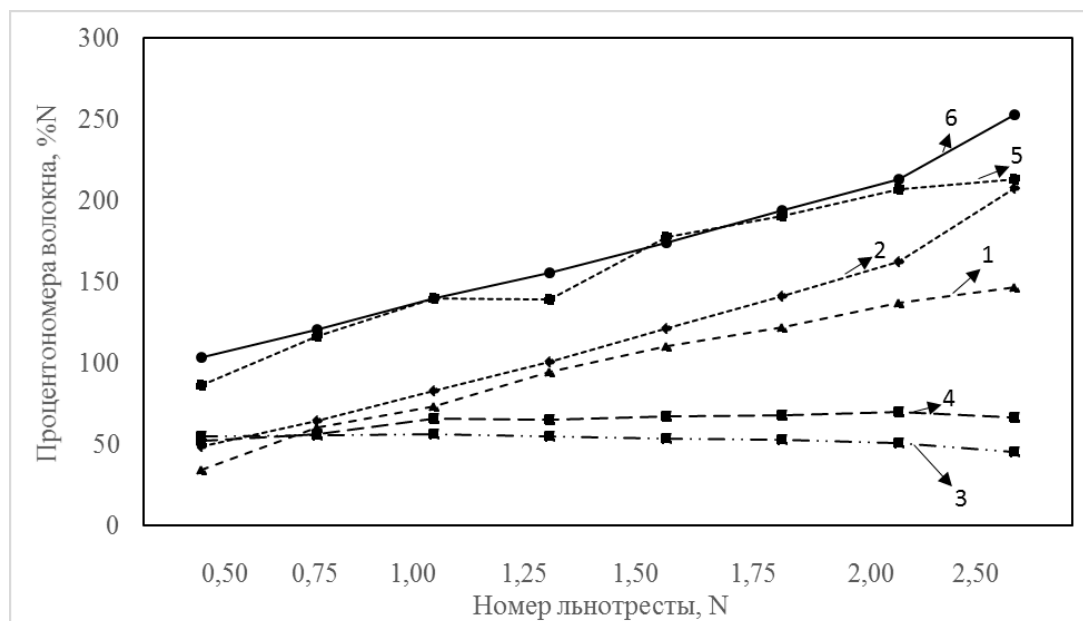


Рис. 3. Фактические и нормированные процентомера волокна:

длинное волокно: 1 – фактические, 2 – нормированные;
 короткое волокно: 3 – фактические, 4 – нормированные;
 все волокно: 5 – фактические, 6 – нормированные

Actual and standardised fibre per centimetres:
 Long thread: 1 – actual, 2 – standardised;
 short fibre: 3 – actual, 4 – standardised;
 total fibre: 5 – actual, 6 – standardised

Таблица 1

Характеристика сортов льна-долгунца по выходу и качеству длинного волокна, полученного из льнотресты номеров 0,50; 0,75; 1,00; 1,25

Characteristics of linen flax long-stem varieties based on the yield and quality of long fibre obtained from flax straw numbers 0.50, 0.75; 1.00, 1.25

Выполнение норм 100 % и более							
Номер льнотресты 0,50				Номер льнотресты 0,75			
Сорт	Выход, %	Сорт	Номер, N	Сорт	Выход, %	Сорт	Номер, N
1	2	3	4	5	6	7	8
Грант	9,8	Грант	10,00	Тверской	7,7	Ленок	10,80
		Алексим	10,00	А 93	7,9	А 93	10,46
		А 93	10,00	Вералин	6,7	Зарянка	11,00
		Могилевский	10,13	Ленок	11,3	Тверской	10,50
		Дашковский	10,71	Зарянка	10,4	Вералин	10,75
		Томский 17	10,19	Лидер	9,2	София	10,64
		Электра	10,45	София	8,4	Василек	11,00
		Томский 18	10,00	Василек	8,9	Могилевский	10,78

1	2	3	4	5	6	7	8
		Агата	10,00	Агата	6,7	Дашковский	10,55
		Дипломат	10,00	Александрит	6,9	Томский 16	11,16
		Универсал	10,00	Надежда	8,0	Томский 17	10,28
		Пралеска	11,00	Грант	7,6	Ли́ра	10,94
		Цезарь	10,00	Визит	6,9	Электра	10,59
Размах варьирования						Томский 18	10,17
			10,00 – 11,00			Смолич	10,17
						Пралеска	10,54
						Цезарь	10,99
						Алексим	10,42
				Размах варьирования			
					6,7 – 11,3		10,17 -11,16
Номер льнотресты 1,00				Номер льнотресты 1,25			
Алексим	9,8	Алексим	11,18	Тверской	12,2	А 93	11,00
Зарянка	8,5	Зарянка	11,00	Василек	12,7	Тверской	12,00
Импульс	8,0	Импульс	10,98	Агата	12,1	Тост	11,00
Вералин	10,0	Сюзанна	11,10	А 93	10,8	Сюзанна	10,92
Сюзанна	9,8	Могилевский	11,00	Томский 17	12,3	Василек	11,00
Дипломат	10,3	Тверской	11,77	Тост	10,4	Агата	11,96
Александрит	9,3	Томский 16	11,41	Сюзанна	10,2	Алексим	11,20
Грант	10,3	Томский 17	10,86	Александрит	11,4	Могилевский	10,99
		Лидер	10,86	Грант	11,6	Зарянка	11,33
		София	10,74			Томский 16	11,28
		Василек	11,00			Лидер	11,29
		Пралеска	11,00			Импульс	11,34
		Цезарь	11,00			Дипломат	11,00
		Дипломат	11,00			Пралеска	11,10
Размах варьирования						Цезарь	10,82
	8,0 -10,3		1074- 11,77	Размах варьирования			
					10,2- 12,7		10,82- 12,00

Таблица 2

Характеристика сортов льна-долгунца по выходу и качеству длинного волокна, полученного из льнотресты номеров 1,50; 1,75; 2,00; 2,50

Characteristics of linen flax long-stem varieties based on the yield and quality of long fibre obtained from flax straw numbers 1.50, 1.75; 2.00, 2.50

Выполнение норм 100 % и более							
Номер льнотресты 1,50				Номер льнотресты 1,75			
Сорт	Выход, %	Сорт	Номер, N	Сорт	Выход, %	Сорт	Номер, N
Тверской	12,2	Алексим	11,76	Лидер	12,0	Лидер	12,00
Алексим	11,8	Тверской	12,00	Томский 17	12,7	Эскалина	11,34
Ленок	12,7	Лидер	11,86	Ли́ра	16,0	А 93	11,59
Ли́ра	13,2	Сурский	11,00	Тост	12,6	Могилевский	11,90
Тост	14,3	Цезарь	11,00	Сурский	14,8	Дашковский	11,75
Лидер	12,1	А 93	11,00	Цезарь	13,0	Зарянка	12,00
Сурский	14,3	А 29	11,00	Александрит	13,0	Тверской	12,00
Цезарь	11,6	Могилевский	11,01	Грант	14,0	Агата	11,43
Александрит	12,6	Дашковский	11,88	Размах варьирования			
Грант	14,6	Томский 16	11,20		12,0-16,6		11,34-12,00
Визит	11,8	Импульс	11,42				
		Смолич	11,00				
		Василек	11,00				
		Агата	11,65				
		Универсал	11,00				
		Пралеска	11,00				
Размах варьирования							
	11,6-14,3		11,00-12,00				
Номер льнотресты 2,00				Номер льнотресты 2,50			
Ли́ра	15,5	Алексим	12,00	-		Эскалина	12,20
Электра	15,3	Эскалина	11,93			Зарянка	12,20
Сурский	16,6	Могилевский	11,98			Альфа	13,20
		Дашковский	12,00	Размах варьирования			
		Зарянка	12,00				12,20-13,20
		Тверской	12,00				
		Альфа	12,00				
		Лидер	12,30				
Размах варьирования							
	15,3-16,6		11,93-12,30				

Анализируя данные табл. 1, 2, можно заметить, что состав сортов, из льнотресты которых получено максимальное количество длинного волокна, не совпадает с составом сортов, длинное волокно которых имеет самое высокое качество. Отсюда следует, что перерабатывающее предприятие, комбинируя различные сочетания сортов, может компоновать партии определенных номеров льнотресты в зависимости от потребностей рынка в длинном волокне того

или иного объема соответствующего качества в конкретный временной интервал.

В связи с тем, что обуславливающим эффективностью работы предприятий является комплексный показатель – процентономера длинного волокна, был проведен анализ с определением лучших и худших сортов по величине этого показателя при переработке льнотресты различного качества (табл. 3, 4).

Таблица 3

Сорта льна-долгунца с максимальными и минимальными значениями комплексных показателей – процентономеров длинного волокна (номера льнотресты 0,50–1,75)

Linen flax long-stem varieties with maximum and minimum values of complex indicators - per centimetres of long fibres (flax straw numbers 0.50–1.75)

Номера льнотресты					
Сорта с максимальными значениями процентономеров					
Сорт	Проценто- номера, %N	Сорт	Проценто- номера, %N	Сорт	Проценто- номера, %N
1	2	3	4	5	6
0,50		0,75		1,00	
Грант	98,0	Ленок	122,0	Дипломат	113,3
А 93	46,0	Зарянка	114,0	Алексим	109,6
Надежда	43,9	Василек	97,9	Сюзанна	108,8
Цезарь	43,0	София	89,4	Грант	103,0
Импульс	42,9	Лидер	88,4	Вералин	100,4
Агата	42,0	А 93	82,6	Зарянка	93,5
Сорта с минимальными значениями процентономеров					
Факел	23,4	Томский 18	33,6	Томский 16	55,9
Атлант	22,5	Факел	32,4	Атлант	53,0
Сурский	21,4	Атлант	31,0	Факел	49,0
Томский 18	21,0	Электра	22,5	Сурский	37,8
Дипломат	21,0	Сурский	20,7	Цезарь	37,4
Универсал	11,0	Цезарь	15,4	Электра	35,0
Номера льнотресты					
1,25		1,50		1,75	
Сорта с максимальными значениями процентономеров					
Тверской	146,4	Сурский	157,3	Лира	174,6
Томский 17	137,9	Тост	151,6	Сурский	162,6
Василек	123,0	Тверской	146,4	Лидер	160,8
Агата	120,8	Грант	146,0	Цезарь	143,0
А 93	118,8	Лира	143,7	Грант	140,0
Грант	116,0	Лидер	143,5	Зарянка	136,8
Сорта с минимальными значениями процентономеров					
Пралеска	74,8	Томский 18	91,0	Дашковский	103,4
А 29	72,0	София	89,6	Агата	102,9

1	2	3	4	5	6
Атлант	72,0	Василек	86,9	Томский 16	94,3
Томский 16	64,3	Томский 16	71,7	Дипломат	92,4
Факел	60,0	Пралеска	66,0	Электра	91,7
Электра	20,7	Электра	24,6	Надежда	66,5

Таблица 4

Сорта льна-долгунца с максимальными и минимальными значениями комплексных показателей – процентономеров длинного волокна (номера льнотресты 2,00–2,50)

Linen flax long-stem varieties with maximum and minimum values of complex indicators - per centimetres of long fibres (flax straw numbers 2.00–2.50)

Номера льнотресты			
2,00		2,50	
Сорта с максимальными значениями процентономеров			
Сурский	182,6	Зарянка	187,9
Лидер	167,3	Альфа	186,1
Электра	164,3	Эскалина	180,6
Лира	163,5	Лира	173,6
Тверской	158,4	Агата	155,1
Ленок	152,9	Ленок	153,7
Сорта с минимальными значениями процентономеров			
Дипломат	124,3	Тост	152,7
Дашковский	117,6	Лира	137,0
Томский 18	107,0	Дипломат	123,2
Универсал	104,5	Универсал	118,8
Томский 16	98,5	Томский 18	118,5
Пралеска	67,1	Пралеска	72,6

Из табл. 3, 4 следует, что целесообразно для льнотресты в соответствии с ее качеством сортов льна-долгунца с максимальными значениями процентономеров длинного волокна применять традиционную технологию переработки на длинное и короткое волокно. Для льнотресты сортов с минимальными значениями этого же комплексного показателя лучше всего использовать технологии переработки на однотипное или короткое волокно. Льнотресту остальных сортов, занимающих промежуточное положение по выходу и качеству длинного волокна, можно рекомендовать перерабатывать по одной из технологий, позволяющей полу-

чить продукт, востребованный потребителями в конкретный временной период, что позволит повысить результативность хозяйственной деятельности льноперерабатывающих предприятий.

ВЫВОДЫ

1. При переработке льнотресты по традиционной технологии с получением длинного и короткого волокна средние фактические значения признаков ее технологического качества без учета сортовых особенностей льна-долгунца

значительно отличаются от аналогичных значений, регламентированных в нормах по выходу и качеству волокна. По всей оценочной шкале качества льнотресты самое большое недовыполнение плановых показателей зафиксировано по процентнономерам длинного волокна (69,6 – 94,0 %), перевыполнение – по процентнономерам короткого волокна (102,1 – 118,3 %).

2. Учет отличительных особенностей сортов льна-долгунца в совокупности с качеством льнотресты позволит обеспечить повышение эффективности работы льноперерабатывающих предприятий за счет более рационального использования сырья при переработке по оптимальной технологии.

3. В результате анализа состава сортов льна-долгунца, находящихся в производстве в льносеющих регионах Российской Федерации, выявлены сорта с максимальными значениями комплексного показателя – процентнономеров длинного волокна, льнотресту которых в зависимости от ее качества выгоднее всего пере-

рабатывать по традиционной технологии на длинное и короткое волокно. Это такие сорта, как Ленок, Зарянка, Василек, София, Лидер, А-93 (номер льнотресты 0,75); Дипломат, Алексим, Грант, Вералин, Сюзанна (номер льнотресты 1,00); Сурский, Тост, Тверской, Грант, Лира, Лидер (номер льнотресты 1,50); Сурский, Лидер, Электра, Лира, Тверской, Ленок (номер льнотресты 2,00). На однотипное и короткое волокно целесообразно перерабатывать льнотресту сортов с минимальными значениями процентнономеров длинного волокна. К ним, например, относятся сорта Томский 18, Универсал, Факел, Электра (низкокачественная льнотреста), Томский 16, А-29, Пралеска (льнотреста среднего качества), Дашковский, Василек, Тост (высококачественная льнотреста).

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования ФГБНУ ФНЦ ЛК по теме № FGSS 0477-2019-0017.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новиков Э.В., Басова Н.В., Безбабченко А.В. Лубяные культуры в России и за рубежом: состояние, проблемы и перспективы их переработки // Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. – 2021. – №1 (1). – С. 30–40.
2. Кирюшин В.И. Научно-инновационное обеспечение приоритетов сельского хозяйства // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 3. – С. 5–10.
3. Басова Н.В., Новиков Э.В., Безбабченко А.В. Производство и переработка лубяных культур в России как элемент импортозамещения // АПК: экономика, управление. – 2022. – № 8. – С. 71–78.
4. Льняная отрасль на пути к возрождению / Т.А. Рожмина, Л.Н. Павлова, В.П. Понажев [и др.] // Защита и карантин растений. – 2018. – № 1. – С. 3–8.
5. Modern problems and priorities of the agrarian Policy of Russia / M.Sh. Makhotlova, J.G. Karmokova, J.S. Guproeveva [et al.] // International agricultural journal. – 2023. – Vol. 7, N 1. – P. 389–400.
6. Анализ состояния и перспективные направления развития селекции и семеноводства технических культур: научный аналитический обзор / И.В. Ущиповский, А.С. Васильев, Т.А. Щеголихина [и др.]. – М., 2019. – 72 с.
7. Новые источники селекционных значимых признаков льна, адаптивные к условиям Центрального Нечерноземья / Т.А. Рожмина, А.А. Жученко, Н.Ю. Рожмина [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 8. – С. 50–55.
8. Хозяйственная ценность новых сортов льна-долгунца / Л.Н. Павлова, Т.А. Рожмина, Е.Г. Герасимова [и др.] // Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, прибыли и перспективы: сб. науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. конф. – Тверь, 2018. – С. 18–20.
9. Басова Н.В., Новиков Э.В., Безбабченко А.В. Анализ экономической эффективности первичной и глубокой переработки лубяных культур // АПК: экономика, управление. – 2021. – № 7. – С. 66–74.
10. Кудряшова Т.А., Виноградова Т.А. Нормативы перевода в волокно льнотресты новых сортов льна-долгунца и эффективности их применения // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29, № 8. – С. 12–14.
11. Кудряшова Т.А., Виноградова Т.А., Козьякова Н.Н. Сравнительный анализ результатов переработки льнотресты сортов льна-долгунца отечественной и иностранной селекции

- по основным хозяйственно-ценным признакам // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2021. – № 2 (392). – С. 61–67.
12. Виноградова Т.А., Кудряшова Т.А., Козьякова Н.Н. Характеристика сортов льна-долгунца различной селекции по комплексу признаков технологической ценности льносырья // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 34, № 5. – С. 32–39.
 13. Виноградова Т.А., Кудряшова Т.А., Козьякова Н.Н. Зависимость качества трепаного волокна от сорта льна-долгунца и номера льнотресты // Аграрный вестник Урала. – 2022. – № 7. – С. 2–15.
 14. Прогнозирование выхода и номера трепаного льна по результатам лабораторной переработки льнотресты / Е.Н. Королева, Э.В. Новиков, Н.Х. Хаитов [и др.] // Наука в центральной России. – 2019. – № 4 (40). – С. 44–49.
 15. Melnikov A.B., Sidorenko V.V., Mikhaylushkin P.V. Priorities of agrarian policy of Russia // State regulation and regional development APK. – 2019. – N 5. – P. 74–77.
 16. Совершенствование системы оценки качества волокна на этапах внедрения новых сортов льна-долгунца / Е.Л. Пашин, Л.В. Пашина, Г.А. Мичкина [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 6 (384). – С. 115–120.
 17. Голуб И.А. Перспективы возделывания и переработки льна-долгунца в Республике Беларусь // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. – 2017. – № 3. – С. 91–98.
 18. Polyakova N., Pokyakov O., Vedmedeva K. Comparanive analisis of flax varieties a ccopding to economically valuable traits in the Speppe zine of Ukraine // Agronomy Research. – 2022. – Vol. 20, N 4. – P. 774–784.
 19. Кудряшова Т.А., Виноградова Т.А., Козьякова Н.Н. Оценка сортов льна-долгунца отечественной и зарубежной селекции по выходу волокна в производственных условиях // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2019. – № 2 (51). – С. 25–34.
 20. Кудряшова Т.А., Виноградова Т.А., Козьякова Н.Н. Конкурентоспособность отечественных сортов льна-долгунца по выходу и качеству длинного волокна при переработке льнотресты в современных условиях производства // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 3 (56). – С. 55–65. – DOI: 10.31677/2072-6724-2020-56-3-55-65.
 21. Ниворожкина Л.Н., Аржаповский С.В., Рудяга А.А. Статистические методы анализа данных: учебник. – М.: Риф, 2018. – 320 с.
 22. Ивченко Т.И., Медведев Ю.И. Математическая статистика: учебник. – М.: Либроком, 2020. – 352 с.

REFERENCES

1. Novikov E.V., Basova N.V., Bezbabchenko A.V., Tehnicheskie kul'tury. Nauchnyj sel'skhozjajstvennyj zhurnal, 2021, No. 1 (1), pp. 30–40 (In Russ.).
2. Kiryushin V.I., Dostizhenija nauki i tehniki APK, 2019, Vol. 33, No. 3, pp. 5–10 (In Russ.).
3. Basova N.V., Novikov E.V., Bezbabchenko A.V., APK: jekonomika i upravlenie, 2022, No. 8, pp. 71–78 (In Russ.).
4. Rozhmina T.A., Pavlova L.N., Ponazhev V.P. [et. al.], Zashhita i karantin rastenij, 2018, No. 1, pp. 3–8 (In Russ.).
5. Maratina Sh. Makhotlova, Julietta G. Karmokova, Jamilya S. Guppoeva [et al.], Modern problems and priorities of the agrarian Policy of Russia, International agricultural journal, 2023, Vol. 7, No. 1, pp. 389–400.
6. Ushchapovskiy I.V., Vasil'ev A.S., Shchegolikhina T.A. [et al.], Analiz sjstoyaniya I perspektivnye napravleniya razvitiya selektsii I semenovodstva tekhnicheskikh kul'tur (Analisis of the state and promising directions of development of breeding and seed production of indusnrial crops), Scientific analytical review, Moscow, 2019, 72 p. (In Russ.).

7. Rozhmina T.A., Zhuchenko A.A., Rozhmina N.YU. [et al.], Dostizheniya nauki i tehniki APK, 2020, Vol. 34, No. 8, pp. 12–14 (In Russ.).
8. Pavlova L.N., Rozhmina T.A., Gerasimova E.G. [et al.], Nauchnoe obespechenie proizvodstva prjadil'nyh kul'tur: sostojanie, pribyli i perspektivy (Scientific support for the production of spinning crops: state, profits and prospects), Collection of scientific tr. based on the materials of the international scientific and practical conference), Tver, 2018, pp. 18–20 (In Russ.).
9. Basova N.V., Novikov E.V., Bezbabchenko A.V., APK: jekonomika i upravlenie, 2021, No. 7, pp. 66–74 (In Russ.).
10. Kudryashova T.A., Vinogradova T.A., Dostizheniya nauki i tehniki APK, 2015, Vol. 8, No. 3, pp. 12–14 (In Russ.).
11. Kudryashova T.A., Vinogradova T.A., Koz'yakova N.N., Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti, 2021, No. 2 (392), pp. 61–67 (In Russ.).
12. Vinogradova T.A., Kudryashova T.A., Koz'yakova N.N., Dostizheniya nauki i tehniki APK, 2021, Vol. 34, No. 5, pp. 32–39 (In Russ.).
13. Vinogradova T.A., Kudryashova T.A., Koz'yakova N.N., Agrarnyj vestnik Urala, 2022, No. 7, pp. 2–15 (In Russ.).
14. Koroleva E.N., Novikov E.V., Khaitov N.K. [et al.], Nauka v central'noj Rossii, 2019, No. 4 (40), pp. 44–49 (In Russ.).
15. Melnikov A.B., Sidorenko V.V., Mikhaylushkin P.V., Priorities of agrarian policy of Russia, State regulation and regional development APK, 2019, No. 5, pp. 74–77.
16. Pashin E.L., Pashina L.V., Vichkina G.A. [et. al.], Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti, 2019, No. 6 (384), pp. 115–120. (In Russ.).
17. Golub I.A., Izvestiya Natsional'noi akademiinauk Belarusi. Seria agrarnykh nauk, 2017, No 3, pp. 91–98 (In Russ.).
18. Polyakova N., Pokyakov O., Vedmedeva K., Comporative analysis of flax varieties according to economically valuable traits in the Speppe zone of Ukraine, Agronomy Research, 2022, Vol. 20, No. 4. pp. 774–784.
19. Kudryashova T.A., Vinogradova T.A., Koz'yakova N.N., Vestnik NGAU, 2019, No. 2 (51), pp. 25–34 (In Russ.).
20. Kudryashova T.A., Vinogradova T.A., Koz'yakova N.N., Vestnik NGAU, 2020, No. 3 (56), pp. 55–65 (In Russ.).
21. Nivorozhkina L.N., Arzhapovskiy S.V., Rudyaga A.A., Statisticheskie metody analiza dannykh (Statistical methods of data analysis), Moscow: Rif, 2018, 320 p.
22. Ivchenko T.I., Medvedev Yu.I., Matematicheskaya statistika (Mathematical statistics), Moscow: Librokom, 2020, 352 p

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ИНТРОДУЦИРОВАННОГО СОРТИМЕНТА ВИШНИ, ВОЗДЕЛЫВАЕМОЙ В УСЛОВИЯХ ПРЕДГОРНОЙ ПРОВИНЦИИ ДАГЕСТАНА

¹**Б.М. Гусейнова**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник

²**Дж.А. Магомедов**, соискатель

³**М.Д. Абдулгамидов**, старший научный сотрудник

¹*Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан, Махачкала, Россия*

²*Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова, Махачкала, Россия*

³*Дагестанская селекционная опытная станция плодовых культур – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан», Буйнакск, Россия*

E-mail: batuch@yandex.ru

Ключевые слова: вишня обыкновенная (*Cerasus vulgaris* Mill.), интродуцированные сорта, продуктивность, биохимический состав, товарно-потребительские свойства плодов, Республика Дагестан.

Реферат. Работа проводилась в 2019–2022 гг. с сортами вишни, выращиваемыми в условиях предгорной провинции Дагестана. Объектами исследования служили 13 интродуцированных сортов вишни различного эколого-географического происхождения. Изучение продуктивности и оценку товарно-потребительских показателей качества плодов вишни проводили, применяя стандартные методики сортоизучения и биохимических анализов. Определено, что сорта Шатен Морель, Хейман Консервн, Владимирская и Баслер Адлер характеризуются наибольшим содержанием в плодах растворимых сухих веществ (14,66–16,21 %) и сахаров (10,15–11,30 %). Наиболее ценными по массовой концентрации витамина С (8,95–10,43 мг%) оказались сорта Краса Севера, Баслер Адлер, Шатен Морель и Любская. Более значительным количеством кислот, чем в сорте сравнения Подбельская (1,24 %), обладали сорта Любская, Шатен Морель и Падус Мааки. Крупноплодностью (4,8–6,9 г) отличались сорта Краса Севера, Чудо-вишня, Хейман Консервн и Баслер Адлер. Дегустационные показатели плодов были оценены высоко (в пределах 4,8–5,0 балла по пятибалльной шкале) у сортов Чудо-вишня, Хейман Консервн и Баслер Адлер. Эти же сорта за годы проведения исследований характеризовались стабильно высокой урожайностью (5,21–7,66 т/га). Результаты комплексного изучения сортимента вишни позволили выявить сорта, наиболее перспективные для возделывания в промышленных масштабах на территории Дагестана и использования в селекции – Чудо-вишня, Хейман Консервн, Баслер Адлер, Краса Севера и Шатен Морель.

COMPREHENSIVE EVALUATION OF INTRODUCED CHERRY VARIETIES CULTIVATED IN THE SUBMONTANE PROVINCE OF DAGESTAN

¹**B.M. Guseynova**, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher

²**J.A. Magomedov**, Co-applicant

³**M.D. Abdulgamidov**, Senior Researcher

¹*Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia*

²*Dagestan State Agricultural University, named after M.M. Djambulatov, Makhachkala, Russia*

³*Dagestan breeding experimental station of fruit crops - the branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Agrarian Research Center of the Republic of Dagestan", Buinaksk, Russia*

E-mail: batuch@yandex.ru

Keywords: sour cherry (*Cerasus vulgaris* Mill.), introduced varieties, productivity, biochemical composition, fruit quality, Republic of Dagestan.

Abstract. The study was conducted from 2019 to 2022 with sour cherry varieties cultivated in the conditions of the mountainous province of Dagestan. The research objects were 13 introduced acidic cherry varieties of different ecological and geographical origins. Productivity and assessing the fruit quality parameters were studied using standard methods of variety research and biochemical analysis. It was determined that the varieties Shaten Morel, Heyman Konservn, Vladimirskaia, and Basler Adler are characterised by the highest content of soluble dry

matter (14.66–16.21%) and sugars (10.15–11.30%) in the fruits. The varieties Krasa Severa, Basler Adler, Shaten Morel, and Liubskaja proved to be the most valuable in terms of the mass concentration of vitamin C (8.95–10.43 mg%). Liubskaja, Shaten Morel, and Padus Maaki had a higher acid content than the reference variety Podbelskaja (1.24%). Varieties Krasa Severa, Chudo-vishnia, Heyman Konservn, and Basler Adler exhibited large fruit sizes (4.8–6.9 g). The sensory evaluation of the fruits was high (within the range of 4.8–5.0 points on a five-point scale) for the varieties Chudo-vishnia, Heyman Konservn, and Basler Adler. These same varieties demonstrated consistently high yields (5.21–7.66 t/ha) over the years of the study. The results of the comprehensive analysis of the cherry assortment allowed the identification of varieties that are most promising for cultivation on an industrial scale in the territory of Dagestan and use in breeding – Chudo-vishnia, Heyman Konservn, Basler Adler, Krasa Severa, and Shaten Morel.

В настоящее время растет спрос населения страны на пищевые продукты, созданные на основе растительного сырья и характеризующиеся сбалансированным составом нутриентов, отличающиеся функциональной направленностью, способствующие укреплению здоровья и коррекции питания населения [1–4]. А это значит, что следует продолжать поиск новых растительных источников, отличающихся большим запасом ценных биологически и физиологически активных веществ. В значительной степени решению данной проблемы способствует подбор оптимального сортимента садовых культур, обладающих высокими пищевыми и технологическими характеристиками и наиболее востребованных для нужд пищевой промышленности.

Несмотря на положительную динамику роста площадей и урожайности садовых культур, остро стоит проблема обеспечения населения России плодово-ягодной продукцией. В настоящее время фактическое потребление фруктов в нашей стране составляет 62 кг на душу населения в год при научно обоснованной норме 100 кг [5]. В продовольственной корзине россиянина в 2022 г. доля импортных фруктов занимала около 58 %¹.

Одной из важнейших среди садовых культур для России является вишня обыкновенная (*Cerasus vulgaris* Mill.), которая ценится за скороплодность, урожайность, неповторимый вкус и особый нутриентный профиль плодов [6–10]. Плоды вишни богаты макро- и микроэлементами, пектинами, органическими кислотами, витамином С, флавоноидами, антоцианами и дубильными веществами, обладающими антиоксидантным, антисептическим и противовоспалительным действием [11–13]. Употребляется она как в свежем, замороженном, так и в сушеном виде. Плоды вишни – это незаменимый продукт для переработки на варенье, джемы, компоты, соки и сиропы.

Вишня, которая занимала в России в XX в. второе место по территории выращивания после яблони, недавно массово завозилась из Канады и Восточной Европы. Наблюдаемое нынешнее сокращение площадей вишневых садов у нас в стране в основном связано с самобесплодностью большинства выращиваемых сортов, появлением на территории РФ новых грибковых заболеваний (коккомикоз, монилиоз), изменением климатических условий, в том числе резкими колебаниями температуры, с экономическими затратами и трудоемкостью сбора плодов [14–16], а сокращение поступления в последние годы вишни на рынки вызвано также санкционной политикой недружественных стран.

В достаточной степени уменьшить негативное воздействие биотических и абиотических стрессоров среды произрастания на садовые культуры, в том числе и вишню, возможно при культивировании сортов, характеризующихся высоким адаптивным потенциалом, хорошей устойчивостью и пластичностью к болезням и вредителям, а также к отрицательным природно-климатическим условиям среды. Поэтому важной задачей исследователей и садоводов является совершенствование промышленного сортимента садовых культур за счет новых высокоценных сортов, совмещающих в своем генотипе комплекс как адаптивных, так и продуктивных признаков, отличающихся привлекательными и качественными плодами, со значительным запасом пищевых веществ, имеющим большую наследственную толерантность к неблагоприятным экологическим факторам среды произрастания [8, 11, 12, 15, 17–20]. Как известно, основным путем обновления сортимента плодовых культур, в т. ч. вишни, остается селекция и интродукция сортов из других эколого-географических групп [8, 11–13, 15, 17–20].

Однако при интродукции сорта вишни не всегда могут максимально проявлять свой ге-

¹Фрукты, овощи и ягоды (рынок России) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 22.03.2023).

нетический потенциал в новых для них природно-климатических условиях, поэтому актуальным направлением исследований является сортоиспытание интродуцентов в конкретных агробиологических условиях возделывания с целью выявления из их числа наиболее перспективных сортов, отличающихся комплексом ценных хозяйственно-биологических и товарно-потребительских признаков для формирования промышленного сортимента данного региона.

Республика Дагестан, благодаря наличию на ее территории благоприятных почвенно-климатических условий, является одним из главных районов промышленного садоводства и по объемам производства фруктов и ягод входит в тройку ведущих лидеров страны. Сегодня общая площадь садов на территории республики превышает 35 тыс. га. По данным Минсельхозпрода РД¹, валовой сбор плодов садовых культур в 2022 г. составил около 220 тыс. т, что на 13 % больше объема 2021 г.

Целью проведенных исследований являлась комплексная оценка сортов вишни, интродуцированных в условиях предгорной провинции Дагестана, для выявления особенностей формирования хозяйственно-биологических, товарно-потребительских и биохимических признаков, выделения перспективных сортов вишни для расширения регионального сортимента, продолжения селекционной работы, а также использования плодов в пищевой промышленности в качестве сырья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа проводилась в 2019–2022 гг. с сортами вишни, выращиваемыми в условиях предгорной плодовой зоны Дагестана, в экспериментальных насаждениях ФГБНУ «Дагестанская селекционная опытная станция плодовых культур» (ФГБНУ ДСОСПК) (г. Буйнакск) согласно программе и методике сортоизучения плодовых культур [21].

Объектами исследования служили 13 интродуцированных сортов вишни различного эколого-географического происхождения: Любская, Владимирская, Краса Севера, Чудо-вишня, Шатен Морель, Падус Мааки, Хейман Консервн, Баслер Адлер, Вердерише Длакенкирше, Bella, Джеймс Рейнес де Консервн, Ольстер. Контрольным являлся сорт Подбельская, районированный в Дагестане и отличающийся высокой продуктивностью,

устойчивостью к стрессорам среды, а также хорошими товарно-потребительскими показателями качества плодов.

Посадка изучаемой вишни проводилась в 2010–2012 гг. по схеме 5х3 м. Подвой – антипка. Каждый опытный сортообразец представлен 5–7 деревьями.

Климат в месте культивирования сортов умеренно континентальный. Среднегодовая температура во время проведения исследований варьировала в пределах 10,7–11,2 °С. По количеству осадков территория хозяйства относится к зоне недостаточного увлажнения – 365–463 мм в год, поэтому разность между испарением (780 мм в год) и осадками восполнялась вегетационными и влагозарядковыми поливами. Сумма активных температур (САТ) в годы исследований составляла 3360–3526 °С.

Изучение продуктивности и оценку товарно-потребительских показателей качества плодов опытных образцов вишни проводили согласно общепринятой методике [21].

Состав и количественное содержание биохимических компонентов в плодах вишни оценивали по следующим показателям: содержание растворимых сухих веществ – по ГОСТ ISO 2173–2013, массовую концентрацию сахаров – по ГОСТ 8756.13-87, титруемую кислотность – по ГОСТ ISO 750-2013 и количество витамина С (аскорбиновой кислоты) – по ГОСТ 24556-89.

Статистическую обработку результатов исследований осуществляли методами математической статистики с помощью пакета программ SPSS 12.0 для Windows (США, компания SPSS: An IBM Company).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Представлены результаты четырехлетних исследований нутриентного состава, урожайности, товарно-потребительских и дегустационных свойств 13 интродуцированных сортов вишни, возделываемых в производственных условиях ФГБНУ ДСОСПК.

Одним из основных показателей урожайности вишни является масса её плода. Крупноплодность – это важный потребительский признак, характеризующий спрос плодовой продукции на рынке. Установлено, что величина массы плода в большей степени определяется генетическими особенностями сорта, однако она способна в значительной

¹Потенциал садоводства Дагестана [Электронный ресурс]. – URL: <http://mcxrd.e-dag.ru/news/item/8766> (дата обращения: 22.03.2023).

мере варьировать в зависимости от экологических условий зоны возделывания и соблюдения агротехнических приемов. Анализ данных исследования плодов вишни, выращиваемых в условиях предгорной плодовой зоны Дагестана, показал, что их средняя масса колебалась в пределах 3,9 (сорта Вердерише

Длакенкирше и Джеймс Рейнес де Консервн) – 6,9 г (Чудо-вишня). Как видно из табл. 1, более крупными плодами, чем у контрольного сорта Подбельская (4,4 г), отличались сорта Краса Севера, Чудо-вишня, Падус Мааки, Хейман Консервн, Баслер Адлер и Bella, у которых масса плода составляла 4,6–6,9 г.

Таблица 1

Технические показатели качества плодов интродуцированных сортов вишни, возделываемых в условиях предгорной провинции Дагестана (средние значения за 2019–2022 гг.)
Technical quality indicators of fruits of introduced cherry varieties cultivated in the mountainous province of Dagestan (average values for 2019–2022)

Сорт	Масса плода, г	Масса косточки		Размеры плода, мм		Индекс формы плода
		г	% от массы плода	высота (H)	диаметр (D)	
Подбельская (контроль)	4,4	0,28	6,5	18,5	17,5	1,06
Любская	4,1	0,27	6,8	16,8	18,2	0,92
Владимирская	4,0	0,27	7,0	16,3	17,9	0,91
Краса Севера	5,8	0,37	6,4	21,3	23,6	0,90
Чудо-вишня	6,9	0,41	5,9	21,8	23,0	0,95
Шатен Морель	4,1	0,30	7,1	17,5	15,9	1,10
Падус Мааки	4,7	0,32	6,8	18,2	19,5	0,93
Хейман Консервн	5,1	0,33	6,5	19,7	21,4	0,92
Баслер Адлер	4,8	0,31	6,4	19,0	20,3	0,94
Вердерише Длакенкирше	3,9	0,21	5,4	15,6	16,3	0,96
Bella	4,6	0,30	6,7	17,3	19,0	0,91
Джеймс Рейнес де Консервн	3,9	0,22	5,6	16,2	17,6	0,92
Ольстер	4,4	0,25	5,5	18,5	19,7	0,94
НСР ₀₅	0,12	0,007		0,26	0,32	
Среднее значение, \bar{X}_{cp}	4,7	0,29		18,2	19,2	
Коэффициент вариации, $C_v, \%$	17,7	18,1		10,0	11,9	

Для вишни отношение массы плода к массе косточки является одним из важных технологических показателей, определяющих в основном величину отходов в процессе переработки. По данным табл. 1, масса косточки от массы плода у исследованных сортов составила 5,4 (Вердерише Длакенкирше) – 7,1 % (Шатен Морель) при варьировании массы косточки

от 0,21 (Вердерише Длакенкирше) до 0,41 г (Чудо-вишня).

Согласно ГОСТ 33801-2016, диаметр плодов вишни, предлагаемых для реализации в свежем виде, для высшего товарного сорта должен быть не менее 17 мм, первого – не менее 15, а для второго – не нормируется.

Результаты технического анализа опытных образцов вишни показали, что все исследован-

ные сорта, за исключением Шатен Морель и Вердерише Длакенкирше, относятся к высшему товарному сорту, у которых диаметр плода по наибольшему поперечному размеру составлял 17,6 (Джеймс Рейнес де Консервн) – 23,6 мм (Краса Севера). Большими размерами плодов, чем у контрольного сорта Подбельская (высота 18,5, диаметр 17,5 мм), характеризовались сорта Краса Севера, Чудо-вишня, Хейман Консервн и Баслер Адлер.

Известно, что важным признаком плодов является их форма, показатель которой – ин-

декс формы (отношение высоты к диаметру). У плодов изучаемых сортов индекс формы находился в пределах 0,90 (Краса Севера) – 1,10 (Шатен Морель).

Анализ урожайности исследованных сортов вишни свидетельствует о том, что для большинства из них наиболее благоприятными по сравнению с другими годами оказались природно-климатические условия 2021 г. (рис. 1, табл. 2).

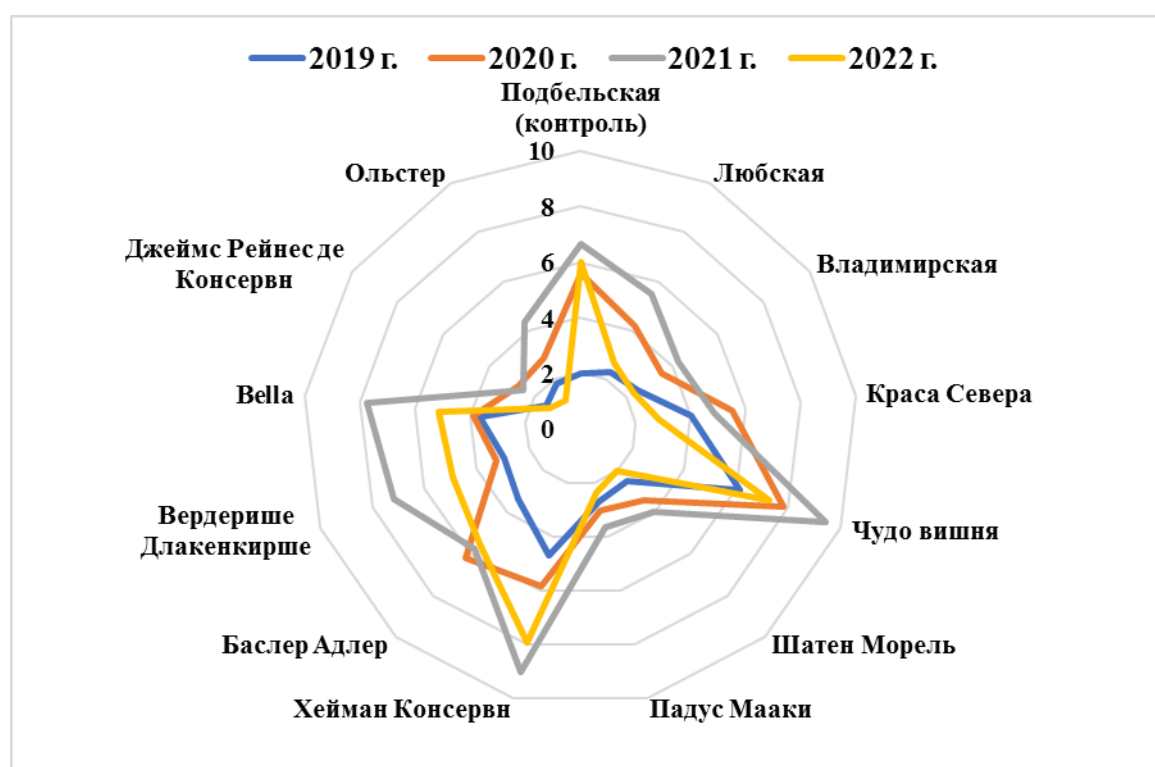


Рис. 1. Динамика урожайности (т/га) интродуцированных сортов вишни, выращиваемых в условиях предгорной провинции Дагестана, за 2019–2022 гг.

Yield dynamics (t/ha) of introduced cherry varieties cultivated in the mountainous province of Dagestan for 2019–2022.

За период проведения наблюдений стабильно высокой урожайностью – в среднем от 5,10 до 7,66 т/га – отличались сорта Чудо-вишня, Хеймон Консервн, Баслер Адлер и Bella, которые превосходили контрольный сорт Подбельская (5,06 т/га) по этому показателю на 2,6; 1,8; 0,15 и 0,04 т/га соответственно (см. табл. 2). Эти интродуцированные сорта вишни способны проявлять в полной мере свой генетический потенциал продуктивности в природно-климатических условиях предгорного Дагестана.

Наиболее низкими показателями средней урожайности характеризовались сорта Джеймс Рейнес де Консервн (2,01 т/га) и Ольстер (2,55 т/га), хотя максимально возможная урожайность у них составляет соответственно 2,74 и 4,33 т/га, что больше на 36,1 и 69,8 % их средней урожайности. Это свидетельствует о невысокой способности вышеуказанных сортов в полной мере реализовывать свой генетический потенциал при выращивании в предгорной провинции Дагестана.

Таблица 2

Показатели урожайности интродуцированных сортов вишни, возделываемых в условиях предгорной провинции Дагестана, за 2019–2022 гг.

Yield indicators of introduced cherry varieties cultivated in the mountainous province of Dagestan for 2019–2022.

Сорт	Урожайность, т/га		Отклонение среднего урожая от контроля, т/га
	средняя	максимальная	
Подбельская (контроль)	5,06	6,66	—
Любская	3,66	5,49	-1,40
Владимирская	3,15	4,26	-1,92
Краса Севера	4,29	5,49	-0,77
Чудо-вишня	7,66	9,42	+2,60
Шатен Морель	2,99	4,00	-2,08
Падус Мааки	2,93	3,66	-2,13
Хейман Консервн	6,86	8,99	+1,80
Баслер Адлер	5,21	6,20	+0,15
Вердерише Длакенкирше	4,56	7,16	-0,51
Bella	5,10	7,73	+0,04
Джеймс Рейнес де Консервн	2,01	2,74	-3,05
Ольстер	2,55	4,33	-2,51
НСР ₀₅	0,22	0,28	
Среднее значение, $X_{\text{ср.}}$	4,31	5,86	
Коэффициент вариации, C_v , %	37,3	34,0	

Существенное влияние на общее состояние деревьев и урожайность вишни оказывают биотические стрессовые факторы среды, т.е. грибковые заболевания коккомикоз и монилиоз, являющиеся наиболее распространенными и вредоносными для вишни при высокой влажности воздуха. Все исследованные сорта отличались хорошей устойчивостью к коккомикозу. Интенсивность его развития не превышала 1,7 балла. Высокую иммунность к этому заболеванию наравне с контрольным сортом Подбельская (1,3 балла) проявили сорта вишни Вердерише Длакенкирше, Любская, Хейман Консервн и Bella, у которых степень поражения плодов составила 1,0–1,4 балла. Кроме того, интродуцированные сорта вишни оказались устойчивыми к монилиальному ожогу – степень поражения плодов варьировала в пределах 0,5 (Bella) – 1,5 балла (Баслер Адлер). Сорта Ольстер, Шатен Морель, Хейман Консервн, Вердерише Длакенкирше и Bella характеризовались и высокой сопротивляемостью

к поражению плодов монилиальной гнилью (среднее поражение составило 8,2%). Более высокой восприимчивостью к этому заболеванию по сравнению с контролем отличались сорта вишни Владимирская, Краса Севера и Джеймс Рейнес де Консервн (поражение 14,3–16,7%).

Работу по интродукции вишни ученые проводят не только для выявления степени проявления потенциальной продуктивности сортов в разных природно-климатических условиях, но и в направлении определения сортов, способных проявлять максимально свой генетический потенциал по товарно-потребительским и биохимическим показателям качества плодов, что диктуется требованиями производителей и потребительского рынка [7–9, 11].

Пищевая ценность плодов вишни зависит от множества факторов: способов возделывания, сортовых генетических особенностей, почвенно-климатических условий места ее культивирования и др. [7–9, 11, 12].

Концентрация растворимых сухих веществ (РСВ), определяющая качество плодов и продуктов их переработки, в изучаемых сортах вишни, культивируемых в условиях Дагестана, составляла 11,79 (Джеймс Рейнес де Консервн) – 16,21 % (Баслер Адлер) при среднем значении данного показателя для анализируемого

сортимента 14,0 %. Как видно из данных табл. 3, наибольшим накоплением растворимых сухих веществ по сравнению с контрольным сортом Подбельская (14,35 %) отличились сорта Шатен Морель (14,66 %), Хейман Консервн (15,67%), Владимирская (15,81 %) и Баслер Адлер (16,21 %).

Таблица 3

Биохимический состав интродуцированных сортов вишни, возделываемых в условиях предгорной провинции Дагестана (среднее за 2019–2022 гг.)

Biochemical composition of introduced cherry varieties cultivated in the mountainous province of Dagestan (average for 2019–2022).

Сорт	Массовая концентрация				Сахаро-кислотный индекс
	растворимых сухих веществ, %	сахаров, %	титруемых кислот, %	витамина С, мг%	
Подбельская (контроль)	14,35	9,22	1,24	8,66	7,44
Любская	14,30	9,65	1,57	8,95	6,15
Владимирская	15,81	10,43	1,06	7,89	9,84
Краса Севера	13,28	10,82	1,15	10,43	9,41
Чудо-вишня	13,70	8,45	0,98	8,58	8,62
Шатен Морель	14,66	10,57	1,56	9,39	6,78
Падус Мааки	12,89	9,23	1,65	5,62	6,85
Хейман Консервн	15,67	11,30	1,03	8,64	8,96
Баслер Адлер	16,21	10,15	0,91	9,79	11,15
Вердерише Длакенкирше	13,95	8,59	0,94	7,80	9,14
Bella	12,48	8,74	1,09	7,15	8,02
Джеймс Рейнес де Консервн	11,79	8,64	1,15	5,34	7,51
Ольстер	13,50	8,13	0,96	7,22	8,47
НСР ₀₅	0,18	0,14	0,035	0,38	
Среднее значение, X_{cp}	14,0	9,53	1,18	8,11	
Коэффициент вариации, C_v , %	9,0	10,4	20,9	32,7	

Основная часть РСВ приходится на сахара, определяющие вкусовые свойства плодов и являющиеся источником энергии. Наибольшее их накопление обнаружено в плодах вишни сортов Баслер Адлер (10,15%), Владимирская (10,43 %), Шатен Морель (10,57 %), Краса Севера (10,82 %) и Хейман Консервн (11,30 %). Сорта Чудо-вишня, Вердерише Длакенкирше, Bella, Джеймс Рейнес де Консервн и Ольстер уступали эталону сравнения – сорту Подбельская (9,22%) по сахаристости на 5,20–11,82 %.

Анализ особенностей накопления сахаров в плодах вишни в зависимости от погодно-кли-

матических условий вегетационных периодов за годы проведения исследований показал, что в наиболее дождливом 2021 г. (426 мм за вегетационный период) были определены в плодах почти всех сортов невысокие массовые концентрации сахаров – от 7,62 (Ольстер) до 10,50 % (Краса Севера). Наибольшее накопление сахаров в опытных образцах (в пределах 9,31–12,6 %) наблюдали в 2020 г., который оказался наиболее засушливым (количество выпавших осадков за период вегетации составляло 258 мм).

Тируемые кислоты, влияющие на вкус и питательную ценность вишни, характеризуют её качество. Как известно, кислотность у виш-

ни обычно высокая. Установлено, что в изучаемой вишне титруемых кислот накопилось от 0,91 (Баслер Адлер) до 1,65 % (Падус Мааки). Более значительным количеством кислот по сравнению с контрольным сортом Подбельская (1,24 %) отличались сорта Любская (1,57%), Шатен Морель (1,56%) и Падус Мааки (1,65%). В среднем по культуре этот показатель составил 1,18 %.

Содержание витамина С, обладающего ярко выраженным антиоксидантным действием, в опытных образцах вишни варьировало в широких пределах – от 5,34 (Джеймс Рейнес де Консервн) до 10,43 мг% (Краса Севера), что свидетельствует о значительной зависимости этого показателя от сортовой специфики. Наиболее ценными по количеству витамина С, наряду с сортом Краса Севера, оказались сорта Баслер Адлер (9,79 мг%), Шатен Морель (9,39 мг%) и Любская (8,95 мг%), у которых содержание витамина С превышало контрольный сорт Подбельская соответственно на 13,0; 8,4 и 3,3 %. Плоды вишни Джеймс Рейнес де Консервн и Падус Мааки наиболее сильно уступили эталонному сорту по уровню накопления этого витамина (в среднем на 36,6 %).

На синтез в плодах вишни витамина С значительное влияние оказали стрессовые факторы. Например, в 2019 и 2020 гг., которые ха-

рактеризовались засушливостью (количество выпавших осадков за период вегетации в эти годы составляло 299 и 258 мм соответственно), в исследованных плодах наблюдалось заметное снижение накопления витамина С – до 15,2–18,7 %. Это подтверждает утверждение авторов работ [11, 22], что «при незначительном количестве осадков за вегетационный период происходит существенное снижение степени формирования витамина С в плодах вишни и других садовых культур».

Важными товарно-потребительскими показателями плодов, наряду с биохимическим составом, являются их органолептические свойства. Дегустацию опытных образцов вишни проводили в помещении без посторонних запахов и хорошо освещенном. Каждый образец оценивался по следующим показателям: внешний вид (окраска плода и целостность формы), консистенция мякоти, вкус. Оценку каждого показателя проводили по 5-балльной системе: 0–1,0 – неприемлемый; 1,1–2,4 – неудовлетворительный; 2,5–3,4 – удовлетворительный; 3,5–4,4 – хороший; 4,5–5,0 – отличный. Были выведены средние баллы по всем показателям. Сорта Чудо-вишня, Хейман Консервн и Баслер Адлер получили наивысшую общую дегустационную оценку (4,8–5,0 балла) (рис. 2).

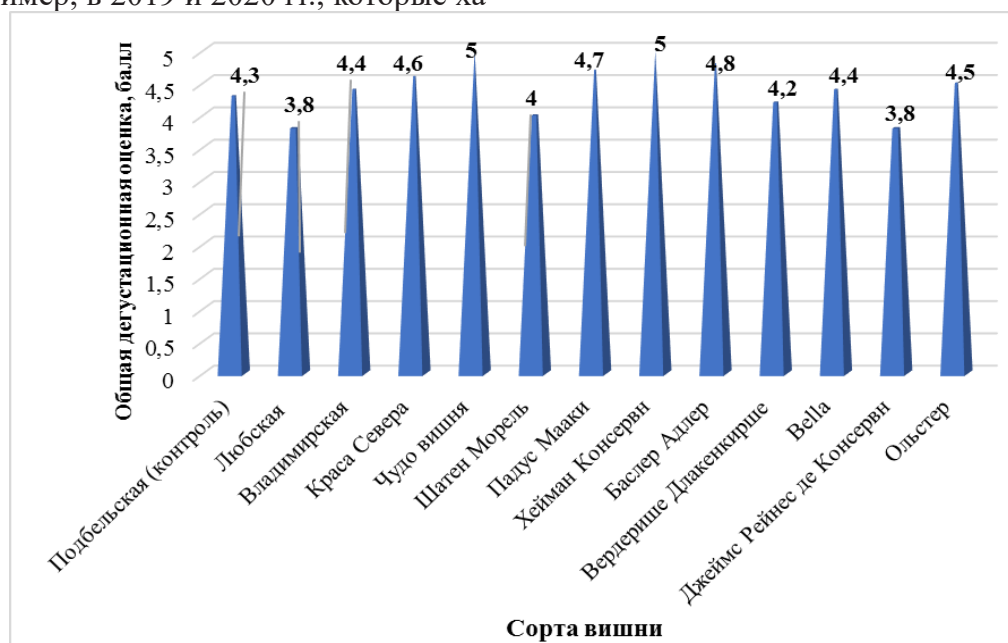


Рис. 2. Дегустационные показатели качества интродуцированных сортов вишни, выращиваемых в условиях предгорной провинции Дагестана (среднее за 2019–2022 гг.).

Sensory quality indicators of introduced cherry varieties cultivated in the mountainous province of Dagestan (average for 2019–2022).

У всех продегустированных плодов вишни отсутствовали несвойственные сортам посто-

ронные привкусы и запахи. Среди исследованных сортов вишни наиболее привлекательным

внешним видом, который был оценен на 4,7–5,0 балла, выделились плоды сортов Чудо-вишня, Краса Севера, Хейман Консервн, Баслер Адлер и Падус Мааки, которые по этому показателю превзошли стандартный сорт Подбельская (4,6 балла).

Окраска плода складывается из различных сочетаний цветов его кожицы и мякоти. Анализ дегустационных данных показал, что в основном у всех сортов, за исключением сорта Вердерише Длакенкирше, в окраске кожицы и мякоти преобладали темно-красные и темно-бордовые тона.

Ценность сортов садовых культур также определяется и вкусовыми достоинствами плодов, которые обуславливаются содержанием различных пищевых веществ, в основном сахаров и кислот, соотношение которых характеризуется сахарокислотным индексом. Как видно из данных табл. 3, наиболее высокими показателями сахарокислотного индекса (6,78–11,15 о. е.) и лучшими вкусовыми свойствами (4,4–5,0 балла) отличились сорта вишни Владимирская, Краса Севера, Чудо-вишня, Хейман Консервн и Баслер Адлер.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее перспективными, характеризующимися хорошей урожайностью, высоким содержанием ценных пищевых веществ, обладающими лучшими товарно-потребительскими и дегустационными свойствами плодов,

оказались сорта вишни Чудо-вишня, Хейман Консервн, Баслер Адлер, Краса Севера и Шатен Морель, которые могут быть использованы в садоводстве и в селекционной работе с целью оптимизации промышленного сортимента, решения проблемы импортозамещения и обеспечения населения страны высококачественной вишней.

2. В интродуцированных сортах, выделенных из исследованного сортимента как наиболее перспективные, содержание в плодах растворимых сухих веществ, сахаров и витамина С варьировало соответственно в пределах 13,28–16,21; 8,45–11,30 % и 8,58–10,43 мг%. Средняя урожайность за годы проведения исследований составляла 2,99 (Шатен Морель) – 7,66 т/га (Чудо-вишня).

3. Из изученного сортимента вишни по результатам дегустационных оценок плодов (4,8–5,0 балла) лучшими оказались сорта Чудо-вишня, Хейман Консервн и Баслер Адлер. Плоды этих сортов могут быть рекомендованы для успешного использования в качестве ценного сырья при разработке на их основе технологии производства новых видов конкурентоспособных высококачественных продуктов питания.

Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан» (тема FNMN-2022-0009, № государственной регистрации 122022400196-7).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об актуальных проблемах оптимизации питания населения России: роль науки: Постановление Президиума РАН № 178 от 27.11.2018. [электронный ресурс]. – URL: <https://www.ras.ru/presidium/documents/directions.aspx?ID=ba975c30-3182-4770-aff8-5601f6042ff5> (дата обращения 03.04.2023).
2. Birch C.S., Bonwick G.A. Ensuring the future of functional foods // International Journal of Food Science and Technology. – 2019. – Vol. 54, N 5. – P. 1467–1485. – <https://doi.org/10.1111/ijfs.14060>.
3. Assessment of functional properties and safety indicators of amaranth flour grain bread / N.N. Alekhina, E.I. Ponomareva, I.M. Zharkova, A.V. Grebenshchikov // Food Processing: Techniques and Technology. – 2021. – Vol. 51, N 2. – P. 323–332. – <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-323-332>.
4. Optimization modelling to improve the diets of first nations individuals / L. Johnson-Down, N. Willows, T-A. Kenny [et al.] // Journal of Nutritional Science. – 2019. – N 8. – <https://doi.org/10.1017/jns.2019.30>.
5. Куликов И.М., Минаков И.А. Развитие садоводства в России: тенденции, проблемы, перспективы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017. – № 1 (56). – С. 9–15.
6. Перспективные сорта черешни селекции ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина» / Р.Е. Богданов, А.Н. Юшков, Н.Н. Савельева, А.С. Земисов, В.В. Чивилев, А.В. Кружков, Н.В. Борзых // Плодоводство и ягодоводство России. – 2020. – Т. 60. – С. 11–18.
7. Пленкина Г.А., Фирсова С.В. Результаты сортоизучения вишни в Кировской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2009. – № 2 (13). – С. 22–28.

8. *Результаты* изучения в условиях Орловской области сортов вишни селекции Татарского НИИСХ / А.А. Гуляева, Е.В. Безлепкина, Т.Н. Берлова, А.А. Галькова, И.Н. Ефремов // Плодоводство и ягодоводство России. – 2020. – Т. 62. – С. 24–31.
9. *Заремук Р.Ш., Доля Ю.А.* Адаптивные сорта сливы и вишни для создания продуктивных агроценозов // Плодоводство и виноградарство юга России. – 2018. – Т. 53, № 5. – С. 15–26. – DOI: 10.30679/2219-5335-2018-5-53-15-26.
10. *Исследование* агробиологических и биохимических показателей у вишни в зависимости от способа размножения / Г.Ю. Упадышева, С.М. Мотылёва, Д.В. Панищева, М.Е. Мертвищева // Садоводство и виноградарство. – 2021. – № 2. – С. 38–46. – <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-2-38-46>.
11. *Формирование* технологических и товарных качеств плодов вишни обыкновенной в условиях юга России / Р.Ш. Заремук, Ю.А. Доля, Т.Л. Смелик, Т.А. Копнина // Садоводство и виноградарство. – 2019. – № 5. – С. 17–22. – DOI: 10.31676/0235-2591-2019-5-17-22.
12. *Кружков А.В., Козаева М.И.* Биологическая характеристика перспективных форм и сортов вишни // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2021. – № 9–2 (77). – С. 53–57.
13. *Иваненко Е.Н., Дроник А.А.* Реализация биологического потенциала сорта вишни Тургеневка в условиях резко континентального климата Астраханской области // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2 (54). – С. 103–108.
14. *Прогнозирование* технологии размножения in vitro вишни: питательные среды и условия культивирования на основе агротехнологии выращивания / Х.В. Шарафутдинов, А.Д. Львова, В.В. Чуб, О.Ю. Миронова, А.В. Волков // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2022. – № 4 (36). – С. 97–99.
15. *Результаты* селекции косточковых культур в условиях юга России / Р.Ш. Заремук, Е.М. Алехина, С.В. Богатырева, Ю.А. Доля // Российская сельскохозяйственная наука. – 2017. – № 3. – С. 10–13.
16. *Караев М.К., Батталов С.Б., Абдулгамидов М.Д.* Агробиологические и товарно-технологические показатели интродуцированных сортов вишни в условиях предгорной провинции Республики Дагестан // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2022. – № 30 (193). – С. 40–50.
17. *Гусейнова Б.М., Абдулгамидов М.Д., Мусаева Р.Т.* Товарно-потребительские показатели качества и хозяйственно-ценные признаки интродуцированных сортов черешни разных сроков созревания, культивируемых в предгорной плодовой зоне Дагестана // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 17, № S2 (66). – С. 14–21. – DOI: 10.12737/2073-0462-2022-12-19.
18. *Гусейнова Б.М., Абдулгамидов М.Д.* Хозяйственно ценные признаки и товарно-потребительские свойства новых сортов и гибридных форм черешни в условиях Дагестана // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – № 23 (5). – С. 685–696. – DOI:10.30766/2072-9081.2022.23.5.685-696.
19. *Ашурбекова Ф.А., Гусейнова Б.М., Даудова Т.И.* Химический состав винограда, культивируемого в районах виноградарства Дагестана, отличающихся почвенно-климатическими условиями // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 3. – С. 17–21. – DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10303.
20. *Гусейнова Б.М., Даудова Т.И.* Влияние сортовых особенностей и природных факторов зон выращивания абрикосов на биохимический комплекс их плодов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2018. – Т. 48 (3). – С. 7–16. – <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2018-48-3-7-16>.
21. *Программа* и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. – Орел: Изд-во Всерос. НИИ селекции плодовых культур, 1999. – 608 с.
22. *Ермаков А.И., Арасимович В.Е., Смирнова М.И.* Методы биохимического исследования растений. – Л.: Колос, 1972. – С. 89–96.

REFERENCES

1. Decree of the Presidium of the Russian Academy of Sciences No. 178 dated November 27, 2018: <https://www.ras.ru/presidium/documents/directions.aspx?ID=ba975c30-3182-4770-aff8-5601f6042ff5>.
2. Birch C.S., Bonwick G.A., Ensuring the future of functional foods, *International Journal of Food Science and Technology*, 2019, Vol. 54, No. 5, pp. 1467–1485, <https://doi.org/10.1111/ijfs.14060>.
3. Alekhina N.N., Ponomareva E.I., Zharkova I.M., Grebenshchikov A.V., Assessment of functional properties and safety indicators of amaranth flour grain bread, *Food Processing: Techniques and Technology*, 2021, Vol. 51, No. 2, pp. 323–332, <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-323-332>.
4. Johnson-Down L., Willows N., Kenny T-A., Ing A., Fediuk K., Sadik T., [et al.], Optimization modelling to improve the diets of first nations individuals, *Journal of Nutritional Science*, 2019, No. 8, <https://doi.org/10.1017/jns.2019.30>.
5. Kulikov I.M., Minakov I.A., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2017, No. 1 (56), pp. 9–15. (In Russ.)
6. Bogdanov R.E., Yushkov A.N., Savel'eva N.N., Zemisov A.S., Chivilev V.V., Kruzhkov A.V., Borzykh N.V., *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*, 2020, Vol. 60, pp. 11–18. (In Russ.)
7. Plenkina G.A., Firsova S.V., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2009, No. 2 (13), pp. 22–28. (In Russ.)
8. Gulyaeva A.A., Bezlepkina E.V., Berlova T.N., Gal'kova A.A., Efremov I.N., *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*, 2020, Vol. 62, pp. 24–31. (In Russ.)
9. Zaremuk R.Sh., Dolya Yu.A., *Plodovodstvo i vinogradarstvo yuga Rossii*, 2018, Vol. 53, No. 5, pp. 15–26, DOI: 10.30679/2219-5335-2018-5-53-15-26. (In Russ.)
10. Upadysheva G.Yu., Motyleva S.M., Panishcheva D.V., Mertvishcheva M.E., *Sadovodstvo i vinogradarstvo*, 2021, No. 2, pp. 38–46, <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-2-38-46>. (In Russ.)
11. Zaremuk R.Sh., Dolya Yu.A., Smelik T.L., Kopnina T.A., *Sadovodstvo i vinogradarstvo*, 2019, No. 5, pp. 17–22, DOI:10.31676/0235-2591-2019-5-17-22. (In Russ.)
12. Kruzhkov A.V., Kozaeva M.I., *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire*, 2021, No. 9–2 (77), pp. 53–57. (In Russ.)
13. Ivanenko E.N., Dronik A.A., *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2021, No. 2 (54), pp. 103–108. (In Russ.)
14. Sharafutdinov Kh.V., L'vova A.D., Chub V.V., Mironova O.Yu., Volkov A.V., *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy*, 2022, No. 4 (36), pp. 97–99. (In Russ.)
15. Zaremuk R.Sh., Alekhina E.M., Bogatyreva S.V., Dolya Yu.A., *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka*, 2017, No. 3, pp. 10–13. (In Russ.)
16. Karaev M.K., Battalov S.B., Abdulgamidov M.D., *Izvestiya sel'skokhozyaistvennoi nauki Tavridy*, 2022, No. 30 (193), pp. 40–50. (In Russ.)
17. Guseinova B.M., Abdulgamidov M.D., Musaeva R.T., *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2022, Vol. 17, No. S2 (66), pp. 14–21, DOI: 10.12737/2073-0462-2022-12-19. (In Russ.)
18. Guseinova B.M., Abdulgamidov M.D., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2022, No 23 (5), pp. 685–696, DOI:10.30766/2072-9081.2022.23.5.685-696. (In Russ.)
19. Ashurbekova F.A., Guseinova B.M., Daudova T.I., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2020, Vol. 34, No. 3, pp. 17–21, DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10303. (In Russ.)
20. Guseinova B.M., Daudova T.I., *Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2018, Vol. 48, No. 3, pp. 7–16, <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2018-48-3-7-16>. (In Russ.)
21. *Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur (Program and Methodology for Variety Study of Fruit, Berry and Walnut Crops)*, Orel: Izd-vo Vseros. NII seleksii plodovykh kul'tur, 1999, 608 p. (In Russ.)
22. Ermakov A.I., Arasimovich V.E., Smirnova M.I., *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rastenii (Methods of biochemical research of plants)*, Leningrad: Kolos, 1972, pp. 89–96.

ВЛИЯНИЕ ОСЕННЕГО СОСТОЯНИЯ РАСТЕНИЙ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ЗИМОСТОЙКОСТЬ ПРИ РАЗНЫХ СРОКАХ ПОСЕВА

Н.Н. Ермошкина, научный сотрудник

Г.В. Артёмова, кандидат биологических наук

Н.В. Давыдова, кандидат сельскохозяйственных наук

А.С. Сурначев, научный сотрудник

К.К. Мусинов, научный сотрудник

А.А. Петрова, аспирант

Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН, р.п. Краснообск Новосибирской обл., Россия

E-mail: natali.erm@bk.ru

Ключевые слова: озимая рожь, озимая мягкая пшеница, озимая тритикале, сроки посева, осенняя вегетация, зимостойкость.

Реферат. Исследования по изучению осеннего состояния растений как фактора, влияющего на зимостойкость озимых пшеницы, ржи и тритикале, проведены на базе СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН в 2018–2021 гг. Морфологические показатели предзимнего состояния растений у зерновых культур (высота растений, количество побегов кушения и зеленая масса) во многом связаны со сроком посева (доля влияния 54,68–85,86 %) и генотипическими особенностями озимых культур (доля влияния 3,63–22,81 %). Наилучшие морфологические показатели выявлены при первом сроке посева, которые снижали свои параметры к третьему сроку. За период исследований отмечены более интенсивные рост, образование побегов кушения и формирование зеленой массы у растений озимой ржи при разных сроках посева по сравнению с тритикале и пшеницей. Помимо морфологических изменений растений наблюдались биохимические изменения (содержание сахаров в узле кушения). Процесс накопления сахаров обуславливался метеорологическими условиями года (доля влияния 30,36 %) и определялся биологическими особенностями культуры (доля влияния 18,69 %). Выявлено высокое содержание сахаров в узле кушения в 2020 г. у ржи – 34,3–43,4 %, у пшеницы – 22,8–32,5 и у тритикале – 28,4–37,3 %, что объясняется прохладными условиями вегетации, которые способствуют накоплению большего количества сахаров в узле кушения растений. При разных сроках посева высокие показатели содержания сахаров наблюдаются у озимой ржи: при первом – 36,5 %, втором – 26,8, третьем – 31,3 %. Тритикале превышает озимую рожь по содержанию сахаров при втором – 29,5 % и третьем сроке посева – 33,0 %. Высокими морфологическими и биохимическими показателями состояния растений в осенний период выделяется озимая рожь, которая имеет высокий уровень зимостойкости (80–100 %) при разных сроках посева. Установлена положительная корреляционная связь с высотой растений и коэффициентом кушения ($r = 0,90^* - 0,91^*$), что говорит о повышении зимостойкости при увеличении данных признаков. Пшеница и тритикале значительно уступают ржи, что связано с их пониженной устойчивостью к максимальным отрицательным температурам по сравнению с рожью. Выявлено, что повышению зимостойкости способствуют увеличение линейного роста, побегообразования растений и количества сахаров в узле кушения ($r = 0,34 - 0,93^*$) у пшеницы и максимальный уровень высоты и количества побегов кушения ($r = 0,84^* - 0,94^*$) у тритикале в осенний период.

INFLUENCE OF AUTUMN PLANT CONDITION ON COLD HARDINESS OF WINTER CEREAL CROPS AT DIFFERENT SOWING DATES

N.N. Ermoshkina, Research Scientist

G.V. Artyomova, PhD in Biological Sciences

N.V. Davydova, PhD in Agricultural Sciences

A.S. Surnachev, Research Fellow

K.K. Musinov, Research Fellow

A.A. Petrova, PhD Student

Institut of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia

E-mail: natali.erm@bk.ru

Keywords: winter rye, soft wheat, winter triticale, sowing dates, autumn vegetation, cold hardiness.

Abstract. Research on the influence of autumn plant condition as a factor affecting the cold hardiness of winter wheat, rye, and triticale was conducted at the Siberian Scientific Research Institute of Plant Growing and Breeding, a branch of the Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, from 2018 to 2021. Morphological indicators of pre-winter plant condition in cereal crops (plant height, number of tillering shoots, and green mass) are primarily associated with the sowing date (contributing to 54.68–85.86%) and genotypic characteristics of winter crops (contributing to 3.63–22.81%). The best morphological indicators were observed with the first sowing date, which decreased by the third sowing date. Over the research period, more vigorous growth, the formation of tillering shoots, and the development of green mass were observed in winter rye compared to triticale and wheat, regardless of the sowing date. In addition to morphological changes in plants, biochemical changes were also observed (sugar content in the tillering node). The accumulation of sugars was influenced by the meteorological conditions of the year (contributing to 30.36%) and determined by the biological characteristics of the crop (contributing to 18.69%). High sugar content in the node of tillering of rye was found in 2020 - 34.3–43.4%, in wheat - 22.8–32.5%, and in triticale - 28.4–37.3%, which can be explained by excellent vegetative conditions promoting the accumulation of more sugars in the node of tillering of plants. At different sowing dates, high sugar content was observed in winter rye: in the first - 36.5%, the second - 26.8%, and the third - 31.3%. Triticale exceeded winter rye in sugar content in the second - 29.5% and third sowing date - 33.0%. Winter rye exhibited high morphological and biochemical indicators in autumn, contributing to its high cold hardiness (80–100%) at different sowing dates. A positive correlation was established with plant height and tillering coefficient ($r = 0.90^* - 0.91^*$), indicating increased cold hardiness with these traits. Wheat and triticale significantly lagged behind rye due to their lower resistance to extreme negative temperatures compared to rye. It was found that an increase in linear growth promotes increased cold hardiness, the formation of tillering shoots, and the amount of sugars in the node of tillering ($r = 0.34 \dots 0.93^*$) in wheat and the maximum height and number of tillering shoots ($r = 0.84^* \dots 0.94^*$) in triticale in the autumn period.

Озимые зерновые культуры имеют большое значение в производстве зерна, так как обладают существенными преимуществами по сравнению с яровыми. Главные из них – пластичность по ареалу распространения и приспособленность к регионам со сложными природно-климатическими условиями [1–3]. В Российской Федерации каждый регион характеризуется определённым комплексом природных условий, в том числе и спецификой проявления благоприятных или неблагоприятных факторов окружающей среды. Исходя из этого, изучение

сроков посева зерновых культур в условиях разных почвенно-климатических зон весьма актуально и имеет большое практическое значение [4–9]. В Западной Сибири из-за неблагоприятных климатических условий необходимы сорта озимых культур, обладающие высоким уровнем зимостойкости [10–13]. В этом регионе допущены к использованию 23 сорта пшеницы, 18 сортов ржи и 8 сортов тритикале, из них селекции СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН принадлежат 7 сортов пшеницы, 4 – ржи и 2 – тритикале [14] (табл. 1).

Таблица 1

Сорта озимых зерновых культур селекции СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН
Winter cereal varieties from the breeding of SRIPGB – a Branch of ICG SB RAS

Культура	Сорта (год включения в Госреестр)
Пшеница озимая	Новосибирская 32 (2004), Новосибирская 40 (2010), Новосибирская 51 (2011), Новосибирская 3 (2014), Новосибирская 2 (2015), Обская озимая (2018), Краснообская озимая (2021)
Рожь озимая	Короткостебельная 69 (1985), Тетра короткая (1986), Влада (2007), Сибирская 87 (2011)
Тритикале озимая	Цекад 90 (2005), Сирс 57 (2009)

Наиболее важные отрезки времени для озимых культур – осенний и зимний периоды, в

течение которых у сельскохозяйственных производителей существует возможность спрог-

нозировать перезимовку растений и потенциальный урожай [15–18]. В осенний период вегетации растения озимых проходят этапы роста и развития, а также накопления необходимых питательных веществ для благоприятной перезимовки [19–22]. Растения становятся еще более устойчивыми против низких критических температур вымерзания: хорошо закаленная пшеница выдерживает понижение температуры у узла кущения до минус 18–20 °С, озимая рожь – до минус 23–24 °С и тритикале – до минус 19–21 °С [23, 24].

В зимний период при положительных температурах под снежным покровом растения медленно продолжают вегетировать, расходуя энергию и питательные вещества. Условия в эти периоды определяют жизнеспособность культуры в целом и напрямую влияют на ее продуктивность [25–27]. Поэтому главным условием благоприятной перезимовки является уход растений в зиму с максимальным количеством питательных веществ. В связи с этим необходимо уточнение сроков посева для определения степени оптимального развития растений озимых культур и уровня содержания сахаров в узле кущения, что в дальнейшем обеспечит хорошую перезимовку и повышение урожайности зерна [5, 6, 28–36]. Трудность выбора оптимального срока посева в Западной Сибири объясняется рядом причин: отсутствие надежных долгосрочных прогнозов погоды, короткий вегетационный период и раннеосенние заморозки.

Цель исследования – изучить осеннее состояние растений как фактора, влияющего на зимостойкость озимых пшеницы, ржи и тритикале.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнена в Сибирском научно-исследовательском институте растениеводства и селекции – филиале ИЦиГ СО РАН в 2018–2021 гг. Опытный участок расположен в Приобском агроландшафтном районе Новосибирской области. Сумма активных температур в зоне исследования колеблется в пределах 1600–2200 °С. Период активной вегетации растений равен 110–135 суток. Среднегодовое количество осадков составляет 250–500 мм в год, которые неравномерно распределены по сезонам года с максимумом в летние месяцы [37].

Посев проведен в три срока: 20 августа (первый срок), 1 сентября (второй срок) и 10

сентября (третий срок) по предшественнику черный пар. Общая площадь делянки в опытах – 10 м², повторность пятикратная. Норма высева для ржи – 5 млн всхожих семян на 1 га, а для пшеницы и тритикале – 6 млн. Почва участка представлена черноземом выщелоченным среднемоющим малогумусным среднесуглинистым, характеризующимися следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 4,2%, общего азота – 0,34, подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – 29 и 13 мг/100 г почвы соответственно, рН – 6,7–6,8, глубина пахотного слоя – 41–46 см [38].

Объектом исследования служили два сорта тетраплоидной озимой ржи (Влада и Тетра короткая), два сорта озимой мягкой пшеницы (Новосибирская 40 и Новосибирская 3) и один сорт тритикале (Сирс 57).

Для проведения учетов и наблюдений использовали методику Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [39]. В период прекращения вегетации перед установлением снежного покрова были взяты образцы растений зерновых культур для проведения лабораторных анализов: определяли линейные размеры листьев (высота главного побега от основания узла кущения до кончика верхнего листа), коэффициент кущения (количество побегов кущения высотой от 1 см) и зеленую массу (взвешивание производилось на лабораторных весах М-ER). Отбирали по 10 растений из двух повторений в период окончания осенней вегетации. Определение содержания сахаров в узлах кущения озимой ржи перед установлением снежного покрова проводилось по методике Бертрона [40]. Весной в полевых условиях определяли степень зимостойкости растений как процентное отношение числа перезимовавших растений к числу растений, ушедших в зиму.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием специальной компьютерной программы SNEDECOR V5. Для определения влияния действующих факторов на морфологические и биохимические показатели проведен трехфакторный дисперсионный анализ, а на зимостойкость – двухфакторный анализ. Корреляционный анализ выполняли с помощью коэффициента парных корреляций по Пирсону.

Агрометеорологические условия, по данным ГМОС «Огурцово», в годы проведения научных исследований значительно различались (табл. 2).

Таблица 2

Метеоданные осеннего периода вегетации растений за 2018–2020 гг. (агрометеостанция «Огурцово»)
 Meteorological data for the autumn vegetation period of plants for 2018–2020 (agrometeorological station "ogurtsovo")

Показатели	2018 г.			2019 г.			2020 г.		
	Срок посева								
	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й	1-й	2-й	3-й
Продолжи- тельность вегетации, сут	55	46	37	59	47	38	59	50	38
Сумма положитель- ных температур, °C	632,1	480,0	378,8	644,1	448,5	334,1	576,5	436,3	279,9
Сумма осадков, мм	77,1	49,3	20,3	98,2	86,8	86,4	118,0	94,0	77,6

В 2018 г. осенний рост и развитие растений озимых проходили при высокой сумме положительных температур и непродолжительном периоде вегетации в сравнении с другими годами. При первом сроке посева (20 августа) сумма положительных температур составила 632,1°C (продолжительность вегетации – 55 суток), при втором (1 сентября) – 480,0 °C (46 суток), тогда как при третьем (10 сентября) – 378,8°C (37 суток). В начале сентября наблюдается умеренно теплая погода – 11,0–15 °C при избыточном количестве осадков. Со второй декады отмечается чередование высоких температур воздуха (максимум 23,1°C) с заморозками (минимум минус 2,5°C) при дефиците осадков.

В 2019 г. наблюдаются максимальная сумма положительных температур и продолжительность вегетации за годы исследований: при первом сроке посева – 644,1°C (59 суток), при втором – 448,5 °C (47 суток), а при третьем – 334,1 °C (38 суток). В период посева отмечается теплая погода (от 16,3 до 12,7°C) при дефиците осадков. Со второй декады сентября высокие температуры воздуха (максимум 23,4 °C) чередуются с низкими (минимум минус 4,4 °C) при избыточном количестве осадков.

В 2020 г. сумма температур была ниже, чем в 2018 и 2019 гг., при такой же продолжительности периода вегетации, как в 2019 г. При первом сроке посева растения озимых развивались при сумме положительных температур 576,5°C (продолжительность вегетации – 59 суток), при втором – 436,3°C (50 суток), а при третьем – 279,9°C (38 суток). Среднемесячная температу-

ра воздуха была на уровне среднемесячных данных при оптимальном количестве осадков. Третья декада сентября характеризуется дождливой и прохладной погодой с чередованием высоких температур воздуха (максимум 22,9°C) и заморозков (минимум -2,5°C)

Условия для заделки растений были благоприятными во все годы. Более теплым был октябрь в 2018 и 2019 гг. Температура воздуха отмечалась выше нормы и варьировала от 4,8 до 5,7 °C при дефиците осадков. Более прохладным был 2020 г. с температурой воздуха в октябре 3,8°C при нормальном количестве осадков. Прекращение осенней вегетации приходилось на вторую декаду (14–19 октября). Снежный покров установился раньше в 2018 г. (1 ноября), чем в 2019 и 2020 гг. (9 ноября и 13 ноября соответственно). В начале третьей декады ноября в 2019 г. наблюдались аномально низкие температуры воздуха – до минус 37 °C при снежном покрове 7,5–12 см, когда температура почвы на глубине залегания узла кущения более трех суток держалась на уровне минус 20°C. Для определения минимальной температуры почвы на глубине узла кущения (ГУК) использовали график, предложенный А. М. Шульгиным [41].

Зимний период во время исследования был благоприятным для перезимовки. Снежный покров варьировал от 56 до 67 см. Минимальная температура почвы на ГУК достигала минус 11°C.

Дата возобновления весенней вегетации в 2019 и 2021 гг. соответствовала средне-

голетним данным (25 апреля). В 2020 г. возобновление вегетации наступило на 10 дней раньше нормы (14 апреля). В весенний период сложились благоприятные условия для роста и развития растений озимых культур.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам трехфакторного дисперсионного анализа выявлены различия влияния разных факторов и их взаимодействия на морфологические (высота растений, количество побегов кущения, зеленая масса) и биохимические показатели (накопление сахаров в узле кущения растений) озимых культур в осенний период (табл. 3). На вышеперечисленные параметры оказывают достоверное влияние варианты, отражающие изменчивость, вызванные биологическими особенностями культуры (В), сроками посева (С) и взаимодействием срока посева с окружающей средой (АС). Варианта, отражающая изменчивость

воздействия окружающей среды (А) и взаимодействие генотипа культуры со сроками посева (ВС) оказывает достоверное влияние на такие признаки, как высота растений и накопление сахаров в узле кущения растений зерновых культур. Взаимодействие окружающей среды с биологическими особенностями культуры (АВ) оказывает достоверное влияние на уровень содержания сахаров в узле кущения. Вариансы, отражающие другие виды изменчивости и их взаимодействия, по вышеуказанным признакам недостоверны.

Наибольший вклад изменчивости по морфологическим признакам обусловлен сроками посева (С) и достигает 54,80–85,86 %. По биохимическим признакам максимальный вклад изменчивости обусловлен условиями года (А) и составил 30,36 %. Изменчивость, вызванная взаимодействием двух факторов (А × С), составляет 8,16–14,42 % на 5%-м уровне значимости.

Таблица 3

Результаты трехфакторного дисперсионного анализа по морфологическим и биохимическим показателям растений озимых зерновых культур (2018–2021 гг.)

Results of three-factor analysis of variance for morphological and biochemical indicators of winter cereal plants (2018–2021)

Факторы	Высота растений		Коэффициент кущения		Зеленая масса		Содержание сахаров в узле кущения	
	F _{факт}	%	F _{факт}	%	F _{факт}	%	F _{факт}	%
Общая изменчивость		100		100		100		100
Фактор А(год)	42,25*	7,74	0,11	0,03	3,01	1,29	31,55*	30,36
Фактор В (культура)	124,54*	22,81	15,25*	3,63	23,52*	10,12	19,42*	18,69
Фактор С (срок)	298,58*	54,68	360,36*	85,86	173,67*	74,72	6,94*	6,68
Взаимодействие АВ	3,61	1,32	2,13	1,02	0,61	0,52	5,90*	11,36
Взаимодействие АС	27,64*	10,12	17,13*	8,16	10,74*	9,24	7,49*	14,42
Взаимодействие ВС	7,10*	2,60	0,74	0,35	2,77	2,39	7,61*	14,64
Ошибка ABC		0,73		0,95		1,72		3,85

Примечание. Здесь и далее: F_{факт} – критерий Фишера фактический; F₀₅ – критерий Фишера теоретический при 5%-м уровне значимости; % – доля влияния фактора. *статистически значимо на критическом уровне 5 %.

Note. Here and below: Fact. – Fisher's actual criterion; F05 - Fisher's criterion theoretical at 5% significance level; % - the share of the influence of the factor; *statistically significant at the critical level of 5%.

При первом сроке посева (20 августа) отмечаются максимальные суммы положительных температур (от 576,5 до 644,1°C) и более продолжительный вегетационный период (от 55 до 59 суток) по сравнению с другими сро-

ками (табл. 4). При раннем посеве появление всходов растений отмечено на 7-е сутки, а кущение – на 14-е. Наблюдаются интенсивные ростовые процессы, максимальная высота растений достигает 35,9 см, формируется до 8,3

шт. побегов кушения и до 8,0 г зеленой массы. Наибольшее количество зеленой массы (от 4,3 до 8,0 г) сформировала рожь при высоте растений 29,1–35,9 см. Интенсивность кушения ржи варьировала от 6,3 до 8,3 побега. Пшеница, наоборот, превосходила рожь по линейному росту (26,4–33,2 см), а параметры зеленой массы (3,3–4,8 г) и кушения (5,8–7,5 побега) были снижены. Линейный рост тритикале значительно уступал линейному росту пшеницы и ржи

и варьировал в пределах от 19,7 до 27,7 см. Тритикале имела более интенсивное кушение – от 7,2 до 8,2 побега по сравнению с другими культурами. Погодные условия в 2019 и 2020 гг. способствовали максимальному линейному росту и формированию зеленой массы растений, а также более интенсивному кушению, которое связано с длительностью вегетации и наибольшей суммой положительных температур.

Таблица 4

Морфологические показатели предзимнего состояния растений озимых зерновых культур (2018–2020 гг.)
Morphological indicators of pre-winter plant condition of winter cereal crops (2018–2020)

Культура	1-й срок (20.08)			2-й срок (01.09)			3-й срок (10.09)		
	Высота, см	Коэффициент кушения, шт.	Зеленая масса, г	Высота, см	Коэффициент кушения, шт.	Зеленая масса, г	Высота, см	Коэффициент кушения, шт.	Зеленая масса, г
<i>2018 г.</i>									
Пшеница	26,4±1,1	5,8±0,5	3,3±0,3	21,3±0,6	4,1±0,3	1,5±0,1	21,2±0,5	3,2±0,2	1,0±0,1
Тритикале	20,0±0,5	7,2±0,3	3,5±0,2	17,1±0,8	6,1±0,5	2,5±0,3	17,0±0,6	3,9±0,4	1,5±0,1
Рожь	29,6±0,9	6,3±0,6	4,3±0,5	27,1±0,7	5,4±0,4	3,4±0,3	22,9±0,8	3,9±0,3	2,1±0,2
<i>2019 г.</i>									
Пшеница	33,2±1,2	6,7±0,5	4,8±0,3	22,4±0,6	4,8±0,2	2,0±0,1	18,5±0,5	2,2±0,1	0,7±0,01
Тритикале	27,7±1,7	8,0±0,7	5,5±0,4	18,0±0,4	4,8±0,2	1,9±0,1	13,8±0,3	2,9±0,2	0,7±0,01
Рожь	35,9±1,2	8,3±0,5	8,0±0,8	25,6±0,8	5,3±0,2	3,2±0,1	17,6±0,5	3,1±0,1	1,2±0,1
<i>2020 г.</i>									
Пшеница	26,7±1,6	7,5±0,6	4,8±0,7	21,1±0,7	5,0±0,4	2,0±0,2	16,0±0,6	1,6±0,2	0,4±0,01
Тритикале	19,7±0,9	8,2±1,0	4,3±0,6	17,8±0,6	5,1±0,5	2,3±0,3	12,1±0,3	1,8±0,2	0,4±0,01
Рожь	29,1±1,5	8,0±0,6	7,0±0,7	21,2±1,3	6,1±0,3	3,5±0,3	14,0±0,5	2,1±0,1	0,6±0,1

При посеве во второй срок (1 сентября) сумма температур варьировала от 436,3 до 480,0°C, а длительность вегетационного периода составила 46–50 суток. В этих условиях растения озимых культур отличались по выраженности морфологических признаков от растений первого срока посева. Период «посев – всходы» наступил на 7–9-е сутки, «посев – кушение» – на 15–19-е. Показатели морфологических признаков растений относительно первого срока (20 августа) уменьшились: вы-

сота растений – до 27,1 см, количество побегов кушения – до 6 шт., зеленая масса – до 3,5 г. У озимой ржи по сравнению с другими культурами наблюдаются высокие показатели линейного роста (21,2–27,1 см), количества побегов кушения (5,3–6,1 шт.), зеленой массы (3,2–3,5 г). Высота растений озимой пшеницы значительно выше тритикале и равнялась 21,1–22,4 см, в то же время количество побегов кушения и зеленая масса в 2019 и 2020 гг. находились на одном уровне с тритикале. Однако при бо-

лее низких показателях линейного роста по сравнению с пшеницей и рожью у тритикале сохранился высокий уровень побегообразования – 4,8–6,1 шт. Морфологические показатели состояния растений были на одном уровне по годам, что связано с равной величиной суммы положительных температур и продолжительности вегетации.

При третьем сроке посева (10 сентября) сумма температур варьировала в пределах от 279,9 до 378,8°C, длительность вегетационного периода составила 37–38 суток и была минимальной по сравнению с другими сроками. Период «посев – всходы» наступил на 8–13-е сутки, «посев – кущение» – на 18–24-е. При третьем сроке посева отмечали снижение всех морфологических показателей растений в осенний период по сравнению с другими сроками. Наилучшие показатели по высоте растений (от 14 до 22,9 см), по кущению (от 2,1 до 3,9 побега) и зеленой массе (от 0,6 до 2,1 г) наблюдались у озимой ржи. Линейный рост (16–21,2 см) и количество побегов кущения (1,6–3,2 шт.) пшеницы был на уровне с озимой рожью, а зеленая масса (1,0–0,4 г) – на уровне тритикале. Тритикале уступала другим культурам по высоте растений (12,1–17,0 см), но количество побегов кущения равнялось 1,8–3,9 шт. при средних параметрах зеленой массы (0,4–1,5 г).

Более благоприятными были условия в 2018 и 2019 гг. при сумме положительных температур более 300°C.

При изучении предзимнего состояния растений озимых зерновых культур были выявлены оптимальные морфологические показатели развития растений при посеве в ранние сроки (20 августа), которые снижались к третьему сроку (10 сентября). За период исследований отмечены более интенсивные рост, образование побегов кущения и формирование зеленой массы у растений озимой ржи при разных сроках посева по сравнению с тритикале и пшеницей. Таким образом, морфологические показатели предзимнего состояния растений во многом связаны со сроками посева и генотипическими особенностями озимых культур.

Помимо морфологических изменений растений происходят биохимические изменения. В осенний период наряду с ростом и развитием проходит процесс закаливания растений озимых культур. В этот период идет накопление запасных веществ, в частности сахаров. Наибольшую ценность представляют озимые культуры, которые больше накапливают сахаров и менее интенсивно их расходуют в процессе дыхания, тем самым обеспечивая растениям высокие показатели зимостойкости и морозостойкости (табл. 5).

Таблица 5

Биохимические показатели предзимнего состояния растения озимых зерновых культур (2018–2020 гг.)
Biochemical indicators of pre-winter plant condition of winter cereal crops (2018–2020)

Культура	Содержание сахаров в узле кущения, %											
	1-й срок (20.08)				2-й срок (01.09)				3-й срок (10.09)			
	2018	2019	2020	среднее	2018	2019	2020	среднее	2018	2019	2020	среднее
Пшеница	24,2 ±1,0	20,1 ±1,6	22,8 ±0,9	22,4 ±2,4	25,7 ±1,1	26,3 ±1,0	27,7 ±1,2	26,6 ±1,2	22,9 ±1,1	27,3 ±1,0	32,5 ±1,1	27,6 ±5,4
Тритикале	28,3 ±0,1	26,3 ±0,2	28,4 ±0,1	27,7 ±1,3	31,4 ±0,3	24,7 ±0,1	32,3 ±0,4	29,5 ±4,7	29,4 ±0,2	32,4 ±0,1	37,3 ±0,2	33,0 ±4,5
Рожь	32,3 ±1,2	31,8 ±1,0	36,5 ±1,5	33,5 ±2,9	23,5 ±1,2	22,8 ±0,8	34,3 ±1,0	26,9 ±7,3	23,6 ±1,2	26,8 ±0,9	43,4 ±1,3	31,3 ±12,0

Содержание сахаров в узле кущения зависит от биологических особенностей озимых зерновых культур и сроков посева. При более длительном периоде вегетации (первый срок посева) наибольшее содержание сахаров в узлах кущения отмечалось у озимой ржи с максимальным значением в 2020 г. (36,5%). При втором сроке более высокий уровень накопления сахаров имела тритикале – 29,5 %, рожь

и пшеница – 26,8 и 26,6 %. При третьем сроке тритикале и рожь накапливают сахаров в среднем больше (33,0 и 31,3 % соответственно), чем пшеница (27,6 %). Установлено высокое содержание сахаров в узле кущения у озимой ржи при всех сроках посева: первом – 36,5 %, втором – 26,8, третьем – 31,3 %. Озимая тритикале превышает озимую рожь по содержанию сахаров при втором – 29,5 % и третьем сроке

посева – 33,0 %. Пшеница накапливает достаточное количество сахаров в узле кущения для перезимовки при всех сроках посева – от 20,1 до 32,5%.

Накопление сахаров в узле кущения растений озимых культур изменяется в зависимости не только от биологических особенностей культуры, но и от условий года. В 2020 г. отмечался более высокий уровень накопления сахаров: у ржи – 34,3–43,4%, у пшеницы – 22,8–32,5% и у тритикале – 28,4–37,3%, что объясняется прохладными условиями вегетации, которые способствуют накоплению большего количества сахаров в узле кущения растений.

Таким образом, на биохимические изменения предзимнего состояния растений озимых зерновых культур оказывают влияние метеорологические условия года и биологические особенности культуры.

Способность озимых культур переносить неблагоприятные факторы зимнего и ранневесеннего периодов определяется осенним состоянием растений и биологическими особенностями озимых культур при разных сроках посева и агрометеорологических условиях года, что подтверждается результатами сравнительной оценки зимостойкости (табл. 6). Согласно результатам двухфакторного дисперсионного анализа, зимостойкость зависела у озимой тритикале от фактора «год» на 93,46 %, а у озимой ржи от фактора «срок» на 77,89 %, которые были достоверны на 5 %-м уровне значимости. Достоверного влияния факторов на зимостойкость озимой пшеницы не выявлено.

Таблица 6

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа по зимостойкости озимых зерновых культур (2018–2021 гг.)

Results of two-factor analysis of variance for the cold hardiness of winter cereal crops (2018–2021)

Факторы	Озимая пшеница, кг		Озимая тритикале		Озимая рожь	
	F _{факт}	%	F _{факт}	%	F _{факт}	%
Общая		100		100		100
Фактор А(год)	2,86	48,76	30,76*	93,46	0,71	5,81
Фактор В (срок)	1,00	17,08	0,15	0,46	9,55*	77,89
Взаимодействие АВ		34,16		6,08		16,30

*Статистически значимо на критическом уровне 5 %

В период 2019–2020 гг. наблюдается наибольшее влияние агрометеорологических условий года на зимостойкость озимых пшеницы и тритикале, что связано с вымерзанием растений из-за снижения температуры почвы на глубине залегания узла кущения до минус 20°C. В данный период у пшеницы было отмечено снижение зимостойкости только при втором и третьем сроке посева (33 и 5 % соответственно) (табл. 7). В то же время у тритикале зимостойкость снизилась при всех сроках посева до минимального уровня – от 6 до 29%. В благоприятные периоды 2018/19 и 2020/21 гг. у озимой тритикале наблюдалось увеличение зимостойкости от первого срока (74 %) к третьему (98%). В тот же период растения озимой пшеницы имели равнозначную зимостойкость при всех сроках посева.

Самую высокую зимостойкость имела озимая рожь независимо от года исследования и сроков посева при сравнении с другими культурами. Выявлено повышение морфологических и биохимических параметров у озимой ржи

при первом сроке посева (20 августа) с зимостойкостью до 80%. К третьему сроку посева (10 сентября) вышеперечисленные параметры у ржи снижались и происходило повышение зимостойкости до 100%. Согласно научным исследованиям, озимая рожь является самой зимостойкой и морозостойкой зерновой культурой [42].

Самую высокую зимостойкость имела озимая рожь независимо от года исследования и сроков посева при сравнении с другими культурами. Выявлено повышение морфологических и биохимических параметров у озимой ржи при первом сроке посева (20 августа) с зимостойкостью до 80%. К третьему сроку посева (10 сентября) вышеперечисленные параметры у ржи снижались и происходило повышение зимостойкости до 100%. Согласно научным исследованиям, озимая рожь является самой зимостойкой и морозостойкой зерновой культурой [42].

Зимостойкость растений озимых зерновых культур (2018–2021 гг.)
Cold hardiness of winter cereal plants (2018–2021)

Культура	1-й срок (20.08)				2-й срок (01.09)				3-й срок (10.09)			
	2018 /19	2019 /20	2020 /21	среднее	2018 /19	2019 /20	2020 /21	среднее	2018 /19	2019 /20	2020 /21	среднее
Пшеница	68,0 ±1,5	75,0 ±2,3	75,0 ±2,0	73,0 ±4,6	68,0 ±1,6	33,0 ±2,1	75,0 ±1,9	59,0 ±25,5	68,0 ±2,3	5,0 ±1,3	75,0 ±2,2	49,0 ±43,6
Тритикале	74,0 ±1,5	29,0 ±1,9	80,0 ±2,6	61,0 ±31,5	89,0 ±1,6	9,0 ±1,0	95,0 ±1,7	64,0 ±54,3	97,0 ±1,2	6,0 ±1,8	98,0 ±1,7	67,0 ±59,8
Рожь	83,0 ±3,0	84,0 ±2,4	80,0 ±1,9	82,0 ±2,4	92,0 ±2,0	91,0 ±1,8	94,0 ±1,5	92,0 ±1,7	100,0 ±0,1	89,0 ±1,7	98,0 ±0,9	96,0 ±6,6

Самую высокую зимостойкость имела озимая рожь независимо от года исследования и сроков посева при сравнении с другими культурами. Выявлено повышение морфологических и биохимических параметров у озимой ржи при первом сроке посева (20 августа) с зимостойкостью до 80%. К третьему сроку посева (10 сентября) вышеперечисленные параметры у ржи снижались и происходило повышение зимостойкости до 100%. Согласно научным исследованиям, озимая рожь является самой зимостойкой и морозостойкой зерновой культурой [42].

Таким образом, снижение зимостойкости в неблагоприятный год связано с пониженной устойчивостью к отрицательным температурам до минус 18°C у тритикале и пшеницы по сравнению с рожью.

По результатам корреляционного анализа были обнаружены положительные и отрицательные связи между зимостойкостью и признаками осеннего состояния растений озимых зерновых культур. Достоверный коэффициент корреляции составил 0,67 при 5%-м уровне значимости. Положительная сильная корреляционная связь зимостойкости с высотой растений и количеством побегов кущения выявлена у пшеницы (коэффициент корреляции $r = 0,87^* - 0,93^*$), у тритикале ($r = 0,84^* - 0,94^*$) и ржи ($r = 0,90^* - 0,91^*$), что говорит о повышении зимостойкости при увеличении данных признаков. Корреляция зимостойкости с зеленой массой, наоборот, выявила отрицательную связь у всех зерновых культур: $r = -0,23 \dots -0,87^*$. Достоверная связь данного признака с зимостойкостью подтверждается у пшеницы и тритикале ($r = -0,87^*$ и $r = -0,72^*$ соответственно), следовательно, при снижении зеленой массы повышается зимостойкость.

Коэффициенты корреляции между зимостойкостью и содержанием сахаров в узле кущения у растений у озимых тритикале и ржи

имели отрицательную связь ($r = -0,23$ и $r = -0,69^*$ соответственно), при этом данные культуры имели максимальные значения количества сахаров в узле кущения. У пшеницы, наоборот, выявлена средняя положительная корреляция ($r = 0,34$) с более низкими показателями количества сахаров в сравнении с тритикале и рожью.

ВЫВОДЫ

1. Морфологические показатели предзимнего состояния растений во многом связаны со сроком посева (доля влияния 54,68–85,86 %) и генотипическими особенностями озимых культур (доля влияния 3,63–22,81 %). Процесс накопления сахаров обуславливается метеорологическими условиями года (доля влияния 30,36 %) и биологическими особенностями культуры (доля влияния 18,69 %).

2. Согласно результатам двухфакторного дисперсионного анализа, зимостойкость зависела у озимой тритикале от фактора «год» на 93,46 %, а у озимой ржи от фактора «срок» на 77,89 %, которые были достоверны на 5 %-м уровне значимости. Достоверного влияния факторов на зимостойкость озимой пшеницы не выявлено.

3. Озимая рожь независимо от года исследования и сроков сева превосходит озимые пшеницу и тритикале как по интенсивности ростовых процессов, побегообразования, так и по накоплению сахаров, что способствует формированию наиболее высокого уровня зимостойкости – 80–100%. Установлена положительная корреляционная связь с высотой растений и коэффициентом кущения ($r = 0,90^* - 0,91^*$), что говорит о повышении зимостойкости при увеличении данных признаков.

4. Озимая пшеница уступает ржи и тритикале по морфологическим и биохимическим параметрам при разных сроках посева. В благоприятных условиях зимостойкость пшеницы сохранялась на одном уровне во всех вариантах опыта. Снижение зимостойкости наблюдается при втором и третьем сроках посева при неблагоприятных условиях вегетации. Обнаружено, что увеличение высоты растений, коэффициента кущения и количества сахаров в узле кущения ($r=0,34-0,93^*$) способствует повышению зимостойкости.

5. Озимая тритикале уступает по линейному росту пшенице и ржи, но в то же время

превосходит пшеницу по количеству побегов кущения, зеленой массе и накоплению сахаров в узле кущения при разных сроках посева. Зимостойкость в благоприятных условиях повышалась от первого срока посева к третьему. В критических условиях зимнего периода зимостойкость снижалась при всех сроках посева. Для увеличения зимостойкости необходим максимальный уровень показателей высоты растений и коэффициента кущения ($r=0,84^*-0,94^*$) в осенний период.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИЦиГ СО РАН (проект № FWNR-2022-0018)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Значение озимой и яровой пшеницы в производстве продуктов питания / Н.В. Долгополова, В.А. Скрипин, О.М. Шершнева, Ю.В. Алябьева // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 5. – С. 52–56.
2. Горбатко Л.С., Горбатко И.А. Подходы и модель размещения производства зерновых культур в региональной агроэкосистеме // Вестник АПК Ставрополя. – 2016. – № 2 (22). – С. 129–134.
3. Уточнение оптимальных сроков сева озимых зерновых культур в связи с потеплением климата Беларуси за последние 25 лет / Ф.И. Привалов, В.В. Холодинский, И.Г. Бруй [и др.] // Земледелие и растениеводство. – 2021. – № 2 (135). – С. 14–17.
4. Каримов Х.З., Каримов И.З., Газизянов Р.Г. Изучение сроков сева озимой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – № 11. – С. 34.
5. Planting Date Effects on Winter Triticale Grain Yield and Yield Components / A.J. Schwarte, L.R. Gibson, D.L. Karlen [et al.] // Crop Science. – 2006. – Vol. 46 (3). – P. 1218–1220.
6. Nleya T., Rickertsen J.R. Winter Wheat Response to Planting Date under Dryland Conditions // Agronomy Journal. – 2014. – Vol. 106 (3). – P. 915–924.
7. Авраменко С.В. Стабилизация урожайности пшеницы озимой при экстремально поздних сроках сева в левобережной Лесостепи Украины / С.В. Авраменко // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 4. – С. 72–76.
8. Свистунова И.В., Батыр М.В. Устойчивость растений тритикале озимого к перезимовке в зависимости от сроков сева и сорта // Пища. Экология. Качество: сб. материалов XVI Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т. – Барнаул: Алт. гос. ун-т, 2019. – Т. 2. – С. 178–181.
9. Fowler D.B. Influence of date of seeding on yield and other agronomic characters of winter wheat and rye grown in Saakatchewan // Canadian Journal plant science. – 1983. – Vol. 63. – P. 109–113.
10. Bobomirzayev P., Tursunov Sh. Dates and norms of sowing new varieties of winter wheat on irrigated lands of the Zarafshan valley // Hunan Daxue Xuebao / Journal of Hunan University Natural Sciences. – 2022. – Vol. 49, N 01. – P. 141–143
11. Горбатенко В.П., Пустовалов К.Н., Константинова Д.А. Конвективный потенциал атмосферы Западной Сибири в условиях меняющегося климата // Enviromis 2020: избр. тр. Междунар. конф. и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды, Томск, 7–11 сент. 2020 г. – Томск: Том. центр науч.-техн. информ., 2020. – С. 3–7.
12. Improving and Maintaining Winter Hardiness and Frost Tolerance in Bread Wheat by Genomic Selection / S. Michel, F. Löschenberger, J. Hellinger [et al.] // Front. Plant Sci. – 2019. – T. 10, N 1195. – P. 11.
13. Understanding effects of genotype environment sowing window interactions for durum wheat in the Mediterranean basin / G. Padovan, P. Martre, M.A. Semenov [et al.] // Field Crops Research. – 2020. – Vol. 259, N 107969. – P. 2–5.

14. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т.1: Сорты растений (официальное издание). – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. – 646 с.
15. Перезимовка и урожайность зерна озимых ржи и тритикале в зависимости от срока посева / Т.С. Вершинина, С.Л. Елисеев, В.А. Попов, О.В. Фотина // Пермский аграрный вестник. – 2016. – № 3 (15). – С. 11–16. – EDN: WKYCER.
16. Ewert F. Spikelet and floret initiation on tillers of winter triticale and winter wheat in different years and sowing dates // Fild Crops Research. – 1996. – Vol. 47, N 2–3. – P. 155–166.
17. Rasmussen I.A. The effete of sowing date, stale seedbed, row width and mechanical weed control on weeds and yields of organic winter wheat // Weed research. – 2004. – Vol. 44, N 1. – P. 12–20.
18. Influence of Planting Date on Winter Rye Performance in Kentucky / E. Szuleta, T. Phillips, C.A. Knott [et al.] / Agronomy. – 2022. – Vol. 12, N 2887. – P. 19.
19. Тихонова О.С. Реакция озимых зерновых культур на приемы посева в Среднем Предуралье: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Пермь, 2006. – 19 с.
20. Письменная Е.В., Азарова М.Ю. Оценка состояния посевов озимой пшеницы в осенний период в засушливой зоне Ставропольского края // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2019. – № 1 (11). – С. 43–53.
21. Павловская И.А. Полевая всхожесть и зимостойкость озимой тритикале в зависимости от агротехнологических параметров посева в условиях лесостепной зоны Западной Сибири // Тритикале: материалы заседания секции тритикале ОСХН РАН онлайн, Ростов-на-Дону, 9 июня 2020 г. – Ростов-н/Дону: Юг, 2021. – С. 192–199.
22. Schönberger H. Weizen noch vor der Gerste säen? // Die landwirtschaftliche Zeitschrift. – 2000. – N 9, P. 64–67.
23. Lühe H., Hartman G. Tipps zur Intensität in Triticale // Die landwirtschaftliche Zeitschrift. – 2003. – N 3. – P. 62–67.
24. Rogen – Getreide mit Zukunft [электронный ресурс]. – URL: <http://dnb.ddb.de>>abrufbar (дата обращения: 08.01.2008).
25. Рослинництво: Підручник / В.В. Базалій, О.І. Зінченко, Ю.О. Лавриненко [и др.]. – Херсон: Грінь Д.С., 2015. – 520 с.
26. Давидянц Э.С., Ерошенко Ф.В. Состояние, тенденции и пути оптимизации производства качественного зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31, № 6. – С. 21–26.
27. Иванова М.С. Влияние срока посева семян на рост и развитие растений озимых культур в осенний период в условиях Среднего Урала // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: сб. докл. XIV Междунар. науч.-практ. конф., Великие Луки, 11–12 апр. 2019 г. – Великие Луки: Великолук. ГСХА, 2019. – С. 17–23.
28. Влияние условий осенней вегетации на перезимовку озимой ржи и пшеницы при разных сроках посева / Н.Н. Ермошкина, Г.В. Артемова, П.И. Степочкин [и др.] // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2021. – Т. 51, № 2. – С. 30–39.
29. Уткина Е.И., Кедрова Л.И. Зимостойкость озимой ржи: проблемы и решения // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – № 1 (62). – С. 11–18.
30. Уточнение оптимальных сроков сева озимых зерновых культур в связи с потеплением климата Беларуси за последние 25 лет. / Ф.И. Привалов, В.В. Холодинский, И.Г. Бруй, В.А. Шантыр, Н.Л. Холодинская // Земледелие и растениеводство. – 2021. – № 2. – С. 14–17.
31. Потапова Г.Н., Иванова М.С. Влияние сроков посева и нормы высева семян на осеннюю вегетацию, зимостойкость и урожайность озимых зерновых культур // Интерактивная наука. – 2017. – № 11 (21). – С. 69–75.
32. Пономарев С.Н., Маннапова Г.С., Пономарева М.Л. Изменение климатических параметров и сроки сева озимой ржи в Республике Татарстан // Земледелие. – 2014. – № 6. – С. 26–30.
33. Козлов В.Е. Сравнение способов получения генетического разнообразия для селекции пшеницы на зимостойкость в условиях Сибири // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2012. – Т. 16, № 1. – С. 232–239.
34. Гриб С.И., Булавина Т.М. Зависимость сроков сева и норм высева семян озимого тритикале от условий выращивания // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2004. – № 40. – С. 69–77.

35. Жолобова М.С., Потапова Г.Н. Влияние элементов технологии возделывания на зимостойкость и урожайность озимого тритикале в условиях Среднего Урала // Тритикале: материалы междунар. науч.-практ. конф., Ростов-на-Дону, 7 июня 2012 г. – Ростов-н/Д: Дон. зонал. НИИСХ, 2012. – С. 167–171.
36. Тарасова Л.Л. Оценка агрометеорологических показателей условий зимовки озимых зерновых культур в центральных черноземных областях в условиях климатических изменений // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. – 2016. – № 360. – С. 26–44.
37. Воронина Л.В., Гриценко А.Г. Климат и экология Новосибирской области. – Новосибирск: Сиб. гос. ун-т геосистем и технологий, 2012. – 228 с.
38. Семендяева Н.В., Ковешникова Л.А., Крупская Т.Н. Водопрочность структуры и содержание гумуса в черноземах выщелоченных Новосибирского Приобья в различных севооборотах // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 6(68). – С. 31–37.
39. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2: Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры / под ред. В.И. Головачева, Е.В. Кириловской. – М.: Калинин. обл. тип., 1989. – 194 с.
40. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.
41. Шульгин А.М. Климат почвы и его регулирование. – Л.: Гидрометиздат, 1967. – 302 с.
42. Umarov R.A, Azizov B.M. Influence of Sowing Dates and Nutritional Background on the Formation of the Yield of Winter Rye // International Journal on Integr. – 2021. – Vol. 4 (11). – P. 218–223.

REFERENCES

1. Dolgoplova N.V., Skripin V.A., Shershneva O.M., Alyab'eva Yu.V., Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii, 2009, No. 5, pp. 52–56. (In Russ.)
2. Gorbato L.S., Vestnik APK Stavropol'ya, 2016, No. 2 (22), pp. 129–134. (In Russ.)
3. Privalov F.I., Kholodinskii V.V., Brui I.G. i dr., Zemledelie i rastenievodstvo, 2021, No. 2 (135), pp. 14–17. (In Russ.)
4. Karimov Kh.Z., Karimov I.Z., Gazizyanov R.G., Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2007, No. 11, pp. 34. (In Russ.)
5. Schwarte A.J., Gibson L.R., Karlen D.L., Dixon Ph.M., Liebman M., Jannink J.-L., Planting Date Effects on Winter Triticale Grain Yield and Yield Components, Crop Science, 2006, Vol. 46 (3), pp. 1218–122.
6. Nleya T., Rickertsen J.R., Winter Wheat Response to Planting Date under Dryland Conditions, Agronomy Journal, 2014, No. 106 (3), pp. 915–924.
7. Avramenko S.V., Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii, 2017, No. 4, pp. 72–76. (In Russ.)
8. Svistunova I.V., Batyr M.V., Pishcha. Ekologiya. Kachestvo (Food. Ecology. Quality), Sbornik materialov XVI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Barnaul: Altaiskii gosudarstvennyi universitet, 2019, Vol. 2, pp. 178–181. (In Russ.)
9. Fowler D.B., Influence of date of seeding on yield and other agronomic characters of winter wheat and rye grown in Saakatchewan, Canadian Journal plant science, 1983, Vol. 63, pp. 109–113.
10. Bobomirzayev P., Tursunov Sh., Dates and norms of sowing new varieties of winter wheat on irrigated lands of the Zarafshan Valley, Journal of Hunan University Natural Sciences, 2022, Vol. 49, No. 01, pp. 141–143.
11. Gorbatenko V.P. Pustovalov K.N., Konstantinova D.A., Enviromis 2020, Izbrannye trudy Mezhdunarodnoi konferentsii i shkoly molodykh uchenykh po izmereniyam, modelirovaniyu i informatsionnym sistemam dlya izucheniya okruzhayushchei sredy, Tomsk: Tomskii tsentr nauchno-tekhnicheskoi informatsii, 2020, pp. 3–7. (In Russ.)

12. Michel S., Löschenberger F., Hellinger J., Strasser V., Ametz C., Pachler B., Sperry E., Bürstmayr H., Improving and Maintaining Winter Hardiness and Frost Tolerance in Bread Wheat by Genomic Selection, *Front. Plant Sci.*, 2019, Vol. 10, No. 1195, 11 p.
13. Padovan G., Martre P., SemeNo.v M.A., Masoni A., Bregaglio S., Ventrella D., Lorite I.J., Santos C., Bindi M., Ferrise R., Dibari C., Understanding effects of genotype \times environment \times sowing window interactions for durum wheat in the Mediterranean basin, *Field Crops Research*, 2020, Vol. 259, No. 107969, pp. 2–5.
14. Gosudarstvennyi reestr selektsionnykh dostizhenii, dopushchennykh k ispol'zovaniyu. T.1. «Sorta rastenii» (State register of selection achievements approved for use. T.1: Plant varieties), Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2022, 646 p.
15. Vershinina T.S., Eliseev S.L., Popov V.A., Fotina O.V., *Permskii agrarnyi vestnik*, 2016, No. 3 (15), pp. 11–16. (In Russ.)
16. Ewert F., Spikelet and floret initiation on tillers of winter triticale and winter wheat in different years and sowing dates, *Field Crops Research*, 1996, Vol. 47, No. 2–3, pp. 155–166.
17. Rasmussen I.A., The effect of sowing date, stale seedbed, row width and mechanical weed control on weeds and yields of organic winter wheat, *Weed Research*, 2004, Vol. 44, No. 1, pp. 12–20.
18. Szuleta E., Phillips T., Knott C.A. [et al.], Influence of Planting Date on Winter Rye Performance in Kentucky, *Agronomy*, 2022, Vol. 12, No. 2887, 19 p.
19. Tikhonova O.S., *Reaktsiya ozimnykh zernovykh kul'tur na priemy poseva v Srednem Predural'e* (The reaction of winter grain crops to sowing methods in the Middle Urals), Extended abstract of candidates thesis, Perm', 2006. 19 s.
20. Pis'mennaya E.V. Azarova M.Yu., *Agropromyshlennye tekhnologii Tsentral'noi Rossii*, 2019, No. 1 (11), pp. 43–53. (In Russ.)
21. Pavlovskaya I.A., *Materialy zasedaniya seksii tritikale OSKhN RAN onlain*, Rostov-na-Donu: Yug, 2021, pp. 192–199. (In Russ.)
22. Schönberger H., Weizen Noch vor der Gerste säen?, *Die landwirtschaftliche Zeitschrift*, 2000, No. 9, pp. 64–67.
23. Lühe H., Hartman G., Tipps zur Intensität in Triticale, *Die landwirtschaftliche Zeitschrift*, 2003, No. 3, pp. 62–67.
24. Rogen – Getreide mit Zukunft: <http://dnb.ddb.de>abrufbar>.
25. Bazalii V.V., Zinchenko O.I., Lavrinenko Yu.O., Salatenko V.N., Kokovikhin S.V., Domarits'kii C.O., *Roslinnistvo: Pidruchnik*, Kherson: Grin' D.S., 2015, 520 p.
26. Davidyants E.S., Eroshenko F.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2017, Vol. 31, No. 6, pp. 21–26. (In Russ.)
27. Ivanova M.S., *Nauchno-tekhnicheskii progress v sel'skokhozyaistvennom proizvodstve* (Scientific and technological progress in agricultural production): Abstracts of papers, 2019, pp. 17–23. (In Russ.)
28. Ermoshkina N.N., Artemova G.V., Stepochkin P.I. [i dr.], *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2021, Vol. 51, No. 2, pp. 30–39. (In Russ.)
29. Utkina E.I., Kedrova L.I., *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2018, No. 1 (62), pp. 11–18. (In Russ.)
30. Privalov F.I., Kholodinskii V.V., Brui I.G. [i dr.], *Zemledelie i rastenievodstvo*, 2021, No. 2, pp. 14–17. (In Russ.)
31. Potapova G.N., Ivanova M.S., *Interaktivnaya nauka*, 2017, No. 11 (21), pp. 69–75. (In Russ.)
32. Ponomarev S.N., Mannapova G.S., Ponomareva M.L., *Zemledelie*, 2014, No. 6, pp. 26–30. (In Russ.)
33. Kozlov V.E., *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*, 2012, Vol. 16, No. 1, pp. 232–239.
34. Grib S.I., Bulavina T.M., *Zemledelie i selektsiya v Belarusi*, 2004, No. 40, pp. 69–77. (In Russ.)
35. Zholobova M.S., Potapova G.N., *Tritikale (Triticale)*, Proceedings of the Conference Title, Rostov-na-Donu: Donskoi zonal'nyi nauchno-issledovatel'skii institut sel'skogo khozyaistva, 2012, pp. 167–171. (In Russ.)
36. Tarasova L.L., *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiiskoi Federatsii*, 2016, No. 360, pp. 26–44. (In Russ.)

37. Voronina L.V., Gritsenko A.G., *Klimat i ekologiya Novosibirskoi oblasti* (Climate and ecology of the Novosibirsk region), Novosibirsk: Sibirskii gosudarstvennyi universitet geosistem i tekhnologii, 2012, 228 p.
38. Semendyaeva N.V., Koveshnikova L.A., Krupskaya T.N., *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2010, No. 6 (68), pp. 31–37. (In Russ.)
39. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Vyp. 2. Zernovye, krupyanye, zernobobovye, kukuruza i kormovye kul'tury* (Methodology of state variety testing of agricultural crops), Moscow: Kalininskaya obl. tipografiya, 1989. 194 p.
40. Ermakov A.I., *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rastenii* (Methods of biochemical research of plants), Leningrad: Agropromizdat, 1987, 430 p.
41. Shul'gin A.M., *Klimat pochvy i ego regulirovanie* (Soil climate and its regulation), Leningrad: Gidrometizdat, 1967, 302 p.
42. Umarov R.A., Azizov B.M., Influence of Sowing Dates and Nutritional Background on the Formation of the Yield of Winter Rye, *International Journal on Integr*, 2021, Vol. 4 (11), pp. 218–223.

СЕМЕННАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ОБРАЗЦОВ ГОРОХА РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ВИР В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

¹**Е.В. Кожухова**, кандидат сельскохозяйственных наук

²**Е.В. Семенова**, кандидат биологических наук

¹*Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН», Красноярск, Россия*

²*Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия*

E-mail: elena.kojuhova@yandex.ru

Ключевые слова: горох, источники, коллекция ВИР, семенная продуктивность.

Реферат. Одним из первых этапов классической селекционной работы является поиск источников для включения их в последующую гибридизацию, и основным поставщиком таких ресурсов является ВИР. В условиях Сибирского региона образцы культур должны быть адаптированы к местным неблагоприятным условиям среды, имея при этом высокую семенную продуктивность, что обуславливает актуальность проводимых исследований, целью которых является поиск источников для включения их в селекционный процесс. С 2017 по 2022 г. исследовано 120 образцов гороха из коллекции ВИР в условиях Красноярской лесостепи. Исследовались три выборки образцов различного происхождения по три года в разные периоды: 2017–2019; 2018–2020; 2020–2022 гг., количество образцов, прошедших исследование в эти периоды, 35, 42, 43 штуки соответственно. Для анализа семенной продуктивности оценивались следующими показателями: масса семян с растения, количество семян на растение, озерненность боба. Среднестатистические показатели «масса семян с растения» по всем выборкам (во все периоды изучения) уступали стандарту: стандарт – 5,01; 6,10 и 7,88 г, среднее значение массы семян с растения – 3,90; 4,34 и 5,49 г, уровень надежности 95% 0,41; 0,45 и 0,35 соответственно. Из исследуемых образцов коллекции ВИР в условиях региона, при объединении образцов по происхождению, по показателю «масса семян с растения» выделялись образцы Украинской селекции и Воронежской области, но при этом в выборках, показывающих отрицательные результаты, имелось место лучшим показателям для отдельных образцов. По семенной продуктивности из исследуемых образцов коллекции ВИР, с учетом их технологичности, в качестве источников для селекционной работы в условиях Восточной Сибири рекомендуется использовать образцы Глянс (к-9636) из Украины и SH-95-66 (к-10010) из Болгарии.

SEED PRODUCTIVITY OF PEA SAMPLES OF VARIOUS ORIGINS FROM THE VIR COLLECTION IN THE CONDITIONS OF EASTERN SIBERIA

¹**E.V. Kozhukhova**, PhD in Agricultural Sciences

²**E.V. Semenova**, PhD in Biological Sciences

¹*Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture Federal Research Center "Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", Krasnoyarsk, Russia.*

²*All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. N.I. Vavilov (VIR)*

E-mail: elena.kojuhova@yandex.ru

Keywords: peas, sources, VIR collection, seed productivity.

Abstract. One of the first stages of classical breeding work is the search for sources to include in subsequent hybridisation, with VIR being the leading supplier of such resources. In the Siberian region, crop samples must be adapted to local adverse environmental conditions while maintaining high seed productivity. It makes the research relevant, aiming to find sources for inclusion in the breeding process. It makes the research suitable, seeking sources for inclusion in the breeding process. The authors studied 120 pea samples from the VIR collection in the conditions of the Krasnoyarsk Forest steppe from 2017 to 2022. Three sets of examples of different origins were learned over three years in different periods: 2017–2019, 2018–2020, and 2020–2022, with the number of samples examined in these periods being 35, 42, and 43, respectively. The authors evaluated seed mass per plant, the number of seeds per plant, and pod wrinkling to analyse seed productivity. The average hands of "seed mass

per plant" for all sets (in all study periods) were below the standard: the standard was 5.01, 6.10, and 7.88 g, while the average value of seed mass per plant was 3.90, 4.34, and 5.49 g, with a 95% confidence level of 0.41, 0.45, and 0.35, respectively. Among the studied samples from the VIR collection in the region, when grouping pieces by origin, representatives from Ukrainian selection and the Voronezh region stood out in terms of the "seed mass per plant" indicator. However, some samples exhibited better hands in samples that showed negative results. Considering seed productivity among the studied pieces from the VIR collection, along with their technological characteristics, it is recommended to use the samples Glance (k-9636) from Ukraine and SH-95-66 (k-10010) from Bulgaria as sources for breeding work in the conditions of Eastern Siberia.

Основным направлением селекции гороха в Восточно-Сибирском региона является создание сортов, обладающих комплексной устойчивостью к неблагоприятным условиям среды, болезням, вредителям, высокими качественными показателями, сохраняя при этом скороспелость и высокую продуктивность [1, 2]. В процессе селекционной работы первым этапом является поиск источников для использования их в последующей гибридизации [3–5]. Одним из основных поставщиков исходного материала для этих целей остается постоянно пополняемая коллекция Всероссийского института генетических ресурсов растений (ВИР), где коллекция гороха представляет средоточие мирового разнообразия вида *Pisum sativum* L. и содержит более 8 тыс. образцов из 93 стран мира [6, 7].

Существует множество вариантов подбора родительских пар для гибридизации, которые за последний век существенно эволюционировали, проделав путь до сложных математических методов определения генетического несходства родительских сортов [8, 9].

При этом наиболее классическим является метод подбора родительских пар по принципу географической отдаленности родителей. Значение применения в селекции иноземного и инорайонного материала подчеркивал еще Н.И. Вавилов в своей работе «Ботанико-географические основы селекции. Учение об исходном материале» [10].

Несмотря на новейшие лабораторные узконаправленные исследования генетического кодирования в селекции [11, 12], изучение фенотипического наследования и проявления признаков, а также адаптивности отдельных образцов в определенных почвенно-климатических условиях проводится благодаря полевым опытам.

Получение оптимального генотипа, способного реализовать биологический потенциал и адекватно реагировать на изменения условий выращивания, остается одной из основных задач современной селекции [13, 14].

Для этого необходимо учитывать интродукцию образцов – генетических источников в совокупности с оценкой их продуктивности,

в связи с чем исследование продуктивности разных по происхождению образцов для включения их в селекционный процесс в различных регионах остается актуальным.

Цель исследования – на основании анализа семенной продуктивности образцов гороха коллекции ВИР разного происхождения выявить наиболее приспособленные к местным условиям для их последующего включения в селекционный процесс.

Задачи:

1. Определить статистические параметры выборки показателя «масса семян с растения» образцов гороха коллекции ВИР в условиях Восточной Сибири.

2. Оценить показатель «масса семян с растения», его процентное отклонение от стандарта и среднего значения по выборке для разных по происхождению образцов, а также варьирование.

3. Выявить наиболее перспективные по семенной продуктивности образцы с учетом их технологичности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследовали 120 образцов гороха, представленных ВИР тремя партиями в разные годы: 2017–2019 гг. – 35 образцов, 2018–2020 гг. – 42 образца, 2020–2022 гг. – 43 образца для изучения в условиях Восточной Сибири. Образцы зарубежного происхождения отмечены принадлежностью к соответствующим государствам, а российского – к областям и краям.

Образцы отличались по окраске семян и цветков, типу листа и разновидности. Их подбор осуществлялся с учетом вегетационного периода, характерного для зоны. В качестве стандарта использовали районированный сорт Радомир – листочковый, с семенами без сращенной семяножки. Образцы в коллекционном питомнике изучали не менее трех лет. Данные по исследованию количества семян на растение, озерненности боба и массы семян с растений представлены за трехлетний период, а

масса семян с растения за период 2017–2019 гг. – за два года).

Учеты проводились в соответствии с методическими указаниями «Коллекция генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение» [15].

В полевых условиях образцы располагали в однократной повторности, стандарт – через каждые 10 номеров, площадь посевной деланки зависела от количества имеющихся в наличии семян. До начала уборки, при достижении растениями полной биологической спелости, вручную отбирали по 10–20 растений с каждого образца и маркировали соответствующими сноповыми этикетками. Учет семенной продуктивности с растения проводили в лабораторных условиях путем учета массы семян с растения, количества семян на растение, количества бобов на растение и расчетом озернённости боба для 10 растений каждого образца.

Рассчитывали среднее значение анализируемых показателей и коэффициент их вариации по годам, позволяющий получить информацию об особенностях норм реакции сортов, обеспечивая при этом сравнимость полученных

результатов. Изменчивость принято считать незначительной, если коэффициент вариации не превышает 10 %, средней, если он выше 10, но менее 20 %, и значительной, если коэффициент вариации более 20 % [16]. Показатель «масса семян с растений», как правило, характеризуется значительной модификационной изменчивостью [17].

Почва опытного участка представлена черноземом обыкновенным тяжелосуглинистым с нейтральной кислотностью почвенного раствора (рН=6,8). Содержание гумуса 7,8 % по Тюрину. Содержание нитратного азота в пахотном слое при посеве соответствовало среднему (10,3 мг/кг почвы), подвижного фосфора (по Чирикову) – повышенному (23,1 мг/100 г) и калия – очень высокому (15,5 мг/100 г) обеспечению. Предшественник – чистый пар.

Годы исследований различались по тепло и влагообеспеченности вегетационного периода – от засушливого периода 2018 г. (ГТК = 0,45 с колебаниями по месяцам от 0,36 до 0,52) до достаточно увлажнённых периодов 2017 г. (ГТК = 1,40), 2020 г. (ГТК = 1,46) и 2022 г. (ГТК = 1,04) (табл. 1).

Таблица 1

Распределение ГТК по месяцам вегетационного периода
Distribution of growing degree days (GDD) by months of the vegetative period

Месяц	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Май	0,44	0,52	0,06	0,38	0,13	0,38
Июнь	0,81	0,47	0,80	1,85	2,72	1,36
Июль	1,04	0,51	1,40	1,86	0,79	0,89
Август	3,03	0,36	0,76	1,45	1,15	1,46
Среднее	1,40	0,45	0,90	1,46	1,34	1,04

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате выбраковки после первых лет изучения некоторых из предоставленных образцов трехлетнее исследование прошли порядка 90 номеров. Большая часть из них (19 образцов) представлена орловской селекцией (ФГБНУ Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур), по 6 образцов канадской и украинской селекции, по 5 – селекции Болгарии, Красноярского края и Тюменской области по 4 образца – селекции Воронежской и Московской области, осталь-

ные 37 образцов представлены селекцией 25 регионов и стран (рис. 1).

Показатель массы семян с растений во многом определялся складывающимися условиями тепло- и влагообеспеченности периода вегетации, в результате чего параметры статистического анализа по периодам исследования существенно различались.

Среднее значение этого показателя в выборках по коллекции во все периоды исследования было ниже среднего значения стандарта – 3,90; 4,34; 5,49 г против 5,01; 6,10 и 7,88 г, уровень надежности (95%) – 0,41; 0,45 и 0,35 соответственно. Медиана незначительно отличалась от среднего показателя.

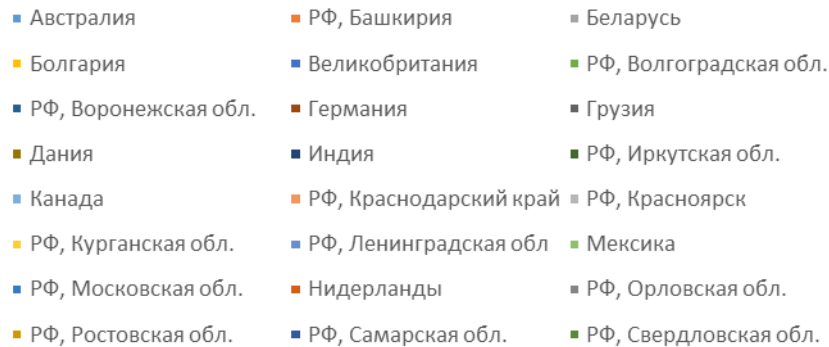


Рис. 1. Распределение образцов, прошедших исследование, по принадлежности к регионам, %

Distribution of examined samples by their regional origin (%)

Коэффициент асимметрии, показывающий степень несимметричности распределения числовых данных относительно среднего значения в периоды 2017–2019 и 2018–2021 гг. имел отрицательное значение – большая часть выборки имела показатели ниже среднего значения, в период 2020 – 2022 гг. – положительные (0,17).

Дисперсия выборки, показывающая разброс показателей относительно среднего значе-

ния, максимальной была в период 2018 – 2021 гг. (1,70).

Размах колебаний показателя в выборках был значительным и изменялся от 0,75 до 5,57 (2017 – 2019 гг.), от 1,31 до 6,43 (2018 – 2019 гг.) и от 3,55 до 7,88 грамм на растение (2020 – 2022 гг.) (табл. 2).

Таблица 2

Статистический анализ показателя «масса семян с растения» по выборкам (2017–2022 гг.)

Statistical analysis of the "seed mass per plant" indicator by sets (2017–2022)

Статистический показатель	2017-2019 гг.	2018-2021 гг.	2020-2022 гг.	Среднее для трех выборок
1	2	3	4	5
Стандарт	5,01	6,10	7,88	6,33
Среднее	3,90	4,34	5,49	4,58
Стандартная ошибка	0,20	0,22	1,72	0,71
Медиана	4,00	4,32	5,34	4,55
Стандартное отклонение	0,95	1,30	1,00	1,08
Дисперсия выборки	0,89	1,70	1,01	1,20
Экссесс	0,11	-0,66	0,34	-0,07
Асимметричность	-0,25	-0,18	0,17	-0,09

1	2	3	4	5
Интервал	3,82	3,03	4,33	3,73
Минимум	0,75	1,31	3,55	1,87
Максимум	5,57	6,43	7,88	6,63
Уровень надежности (95%)	0,41	0,45	0,35	0,40

Так как изучение проходило в разные годы, значительно различающиеся по тепло- и влагообеспеченности, прибавку показателя оценивали в процентах к стандарту и к среднему показателю по выборке.

При сортировке по происхождению образцы, прошедшие изучение, уступали стандарту Радомир по показателю массы семян с растения, что подтверждает необходимость адаптации сортов к определенным почвенно-климатическим условиям, в которых они возделываются. В данном случае стандарт, районированный с 1999 г., изначально оказывается в более привычных условиях, чем образцы из других регионов. Коэффициент вариации при этом для большинства образцов также был значительным и в среднем составлял 43,3%.

Образцы из Орловской области, обладающие внушительным количеством отличимых признаков и различием морфотипов (хамелеоны, люпиноиды, рассеченолисточковые, акациевидные), в целом уступали стандарту, но представляли большую ценность как селекционный материал, одним из назначений которого является внедрение в генотип новых отличительных сортовых признаков, в том числе улучшающих технологичность культуры. Коэффициент вариации по всем сортам за все годы изучения составил 40,4%. Отдельные образцы все же превосходили стандарт, например, АЗ-95-645 (к-9255) превзошел стандарт по массе семян с растения на 10% за период изучения 2017 – 2019 гг. При этом средние показатели по выборке за период 2018 – 2020 гг. (4,34 г/растение) превосходили образцы В-агримут (к-9776) (5,0), Лу-268-98 (к-9247) (4,71), Мультик (к-8931) и Пап-986/6 (к-9777) (4,46). За период 2020 – 2022 гг. три образца - многоцветковый хамелеон Ягуар (к-10088) (6,29 г/растение), многоцветковые сорта с усатым типом листа Стоик (к-9278) (6,32 г/растение) и Ортюм (к-9279) (6,43 г/растение) превысили значение среднего показателя (5,49 г/растение).

Шесть образцов из Канады, где климатические условия в большей части схожи с сибирскими, проходили изучение только в один период (2018–2020 гг.), при этом в среднем также отличались значительным варьированием показателя ($V = 42,1\%$) и отклонением от стандарта (-39,8%) и от среднего показателя (-15,4%). При этом минимальным отклонением от стандарта (-3,3%) характеризовался сорт Carrera (к-9585) с усатым типом листа – показатель массы семян составил 5,9 г/растение при среднем показателе в выборке 4,4 г/растение. Средний показатель по выборке превысил также сорт Impala (к-8819) (5,4 г/растение).

Исследование шести образцов из Украины продемонстрировало их минимальное отклонение от стандарта (-9,2%) и стабильную прибавку к среднему показателю (26,0; 8,9 и 28,3% по периодам) при значительном варьировании показателя ($V = 48,1\%$). При этом максимальное значение по семенной продуктивности показал афильный сорт Глянс (к-9636) – (5,6 г/растение) за период 2017–2019 гг. (табл. 3, 4).

Пять образцов из Болгарии при среднем варьировании признака 35,9% уступали как стандарту (-42,7%), так и среднему по выборке (-21,0%). Из данных образцов лучшие показатели семенной продуктивности были у образца SH-95-66 (к-10010) за период 2020 – 2022 гг. (-5,7% от стандарта и прибавка 35,34% к среднему показателю по выборке – 7,43 г/растение).

По 4 исследованных образца происхождения Тюменской, Воронежской и Московской областей показали прибавки к среднему показателю 18,0; 21,6 и 10,0% соответственно, по 3 образца из Нидерландов и Татарстана – 20,2 и 18,7%.

Данные по образцам иного происхождения, материал для изучения которых был представлен 1 – 2 образцами, наглядно представлены в табл. 3.

Таблица 3

Сравнительная характеристика массы семян с растений образцов разного происхождения, исследованных в Восточносибирском регионе
Comparative characteristics of seed mass per plant of samples of different origins studied in the Eastern Siberian region

Происхождение	n*	2017 – 2019 гг.			2018 – 2020 гг.			2020 – 2022 гг.			Среднее		
		V, %	к ст., %	к ср., %	V, %	к ст., %	к ср., %	V, %	к ст., %	к ср., %	V, %	к ст., %	к ср., %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
РФ, Орловская обл.	19	21,9	-30,7	-11,1	60,8	-27,4	3,1	38,4	-30,2	-3,7	40,4	-31	13,1
Канада	6				42,1	-39,8	-15,4				42,1	-39,8	-15,4
Украина	6	39,9	-1,5	26,5	73,9	-15,5	8,9	30,7	-10,6	28,3	48,1	-9,2	21,2
Болгария	5	35,5	-42,7	-26,4	11,7	-56,9	-39,40	60,5	-28,4	2,7	35,9	-42,7	-21,0
РФ, Тюменская обл.	4	21,9	-38,6	11,2	66,6	4,1	46,2	67,1	-32,7	-3,5	51,9	-22,4	18,0
РФ, Воронежская обл.	4	29,3	-15,1	9,0	45,6	3,7	45,8	34,6	-23,4	9,9	36,5	-11,6	21,6
РФ, Московская обл.	4							55,8	-21,2	10,0	55,8	-21,2	10,0
Нидерланды	3				63,5	-14,5	20,2				63,5	-14,5	20,2
РФ, Татарстан	3	11,5	-16,5	7,2	62,7	-7,3	30,2				37,1	-11,9	18,7
Австралия	2	37,4	-29,1	-9	21,2	-47,0	-25,6				29,3	-38,1	-17,3
РФ, Башкирия	2	12,1	-12,2	12,7				37,1	-53,4	-33,09	24,6	-32,8	-10,2
Беларусь	2	8,8	-25,9	-4,9				76,9	-33,8	-4,97	42,9	-29,9	-4,9
Великобритания	2				50,6	-41,7	-18,1				50,6	-41,7	-6,0
РФ, Волгоградская обл.	2	1,1	-23,5	-1,8	61,8	-8,3	28,9				31,5	-15,9	13,6
Германия	2	33,3	-34,7	-16,2	63,9	-26,6	3,2				48,6	-30,6	-6,5
РФ, Краснодарский край	2				67,9	-37,8	-12,6	74,5	-31,1	-1,09	71,2	-34,5	-4,6

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
РФ, Красноярский край	2	12,7	-20,2	15,4	34,1	0,0	40,5	21,8	0,0	43,5	22,9	-6,7	33,1
РФ, Ульяновская обл.	2	15,7	-8,1	17,9				72,2	-26,9	4,9	44,0	-17,5	11,4
Грузия	1				38,4	-31,5	-3,7				38,4	-31,5	-3,7
Дания	1	5,3	-23,8	-2,2							5,3	-23,8	-2,2
Индия	1							18,6	-24,1	8,9	18,6	-24,1	8,9
РФ, Иркутская обл.	1							49,0	-33,9	-5,23	49,0	-33,9	-5,2
РФ, Курганская обл.	1							34,1	-33,3	-4,3	34,1	-33,3	-4,3
РФ, Ленинградская обл.	1				56,4	-42,8	-19,7				56,4	-42,8	-19,7
Мексика	1				73,3	-58,4	-41,5				73,3	-58,4	-41,5
РФ, Ростовская обл.	1				71,7	-40,2	-16,0				71,7	-40,2	-16
РФ, Самарская обл.	1	50,9	-52,0	-38,3							50,9	-52,0	-38,3
РФ, Свердловская обл.	1							33,8	-54,9	-35,3	33,8	-54,9	-35,3
РФ, Томская обл.	1				66,6	4,06	46,3				66,6	4,06	46,3
Турция	1							40,0	-28,5	2,6	40,0	-28,5	2,6
Франция	1							30,4	-27,9	-5,6	30,4	-27,9	-5,6
Чехия	1							67,3	-34,2	-5,6	67,3	-34,2	-5,6
Швеция	1				11,2	-51,8	-32,3				11,2	-51,8	-32,3
Эквадор	1	17,7	-31,0	-12,7							17,7	-31,0	-12,7
РФ, Ярославская обл.	1				36,9	-48,0	-26,9				36,9	-48,0	-26,9

*n – количество исследуемых образцов (всего за все периоды)

При ступенчатой сортировке образцов в следующей последовательности: 1 – масса семян с растений, 2 – количество семян на растение, 3 – озерненность боба – определено по 5 образцов из каждой выборки, показывающих максимальные результаты по семенной продуктивности.

Из исследованных образцов гороха коллекции ВИР в 2017–2022 гг. по семенной продуктивности лидирующие позиции занимали образцы Глянс (к-9636) из Украины, АЗ-95-645 (к-9255) из Орловской области, Олеко (к-9684) из Украины, Радомир из Красноярского края и Ульяновец (к-9523) из Ульяновской области.

Из них по массе семян с растений стандарт превосходили: полубезлисточковый сорт украинской селекции Глянс (к-9636) – 5,6 г/растение, показывающий также лучшие параметры технологичности по сравнению с стандартом: УКП (устойчивость к полеганию) – 3 балла (стандарт – 2), а также хамелеон АЗ-95-645 (к-9255) орловской селекции – 5,5 г/растение, УКП – 2 балла.

По количеству семян на растение максимальные показатели были у стандарта – 28,8 шт. при размахе показателя 20,0 – 38,1 шт.

По озерненности боба (5,0) лидирующие позиции занял листочковый сорт Ульяновец (к-9523).

В выборке 2018–2020 гг. максимальные показатели семенной продуктивности по массе семян на растение были у сортов Belinda (к-8356) из Нидерландов, Новосибирец (к-8677) из Новосибирской области, Виктория желтая (к-1755) из Воронежской области, Радомир из Красноярского края, Carrega (к-9585) из Канады.

Из них превзошел стандарт листочковый образец Belinda – 6,4 г/растение при значительном размахе показателя по годам – от 3,0 до 11,2 г/растение, при этом УКП оценивалась в 2 балла. Продуктивность выше стандарта показал также сорт Новосибирец (листочковый) – 6,4 г/растение, при значительном размахе показателя – 1,8–10,2 г/растение (УКП 2, у стандарта УКП также 2), этот же образец имел максимальную озерненность боба – 5,5 шт.

У листочкового образца Виктория желтая масса семян с растений также был выше стандарта, а кроме того, наибольшее в выборке количество семян на растение – 25,7 шт., но при этом образец характеризовался слабой устойчивостью к полеганию (УКП – 1 балл).

В выборке 2020–2022 гг. максимальные показатели семенной продуктивности по массе семян с растения установлены у стандарта Радомир (7,9 г/растение), в пятерку лучших также вошли образцы SH-95-66 (к-10010) из Болгарии, 794/95 (к-9146) из Московской области, Фокор (к-9439) из Воронежской области и 213/95 (к-9144) из Московской области.

По количеству семян на растение за этот период лидировал многоцветковый образец с видоизмененным усатым типом листа из Московской области 794/95 – 37,4 шт/растение, диапазон колебаний показателя – 31,0–43,7 шт/растение (однако для этого образца была характерна низкая устойчивость к полеганию и слабая выживаемость).

По озерненности боба лидировал образец болгарской селекции SH-95-66 (к-10010) с показателями 4,5 шт., при диапазоне колебаний 3,2–3,9 шт. (УКП – 4 балла) (см. табл. 4).

Таблица 4

Параметры семенной продуктивности наиболее продуктивных образцов гороха посевного (2017 – 2022 гг.)
Seed productivity parameters of the most productive pea samples (2017–2022)

Название	Номер в коллекции ВИР	Происхождение	Описание*	УКП	Масса семян с растения	Количество семян на растение	Озерненность боба
1	2	3	4	5	6	7	8
2017–2019 гг.							
Радомир	Стандарт	РФ, Красноярский край	Af, Def	2	$\frac{4,1 - 5,9}{5,0}$	$\frac{20,0 - 38,1}{28,8}$	$\frac{4,0 - 4,9}{4,3}$
Глянс	к-9636	Украина	af, Def	3	$\frac{4,2 - 6,9}{5,6}$	$\frac{16,6 - 23,8}{19,1}$	$\frac{3,5 - 4,2}{3,9}$

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
АЗ-95-645	к-9255	РФ, Орлов- ская обл.	хам. Def	2	$\frac{4,1 - 6,9}{5,5}$	$\frac{12,2 - 26,9}{18,8}$	$\frac{3,8 - 5,1}{4,4}$
Олеко	к-9684	Украина	af, Def	2	$\frac{2,6 - 7,5}{5,0}$	$\frac{9,7 - 22,6}{16,2}$	$\frac{3,0 - 4,6}{3,8}$
Ульяновец	к-9523	РФ, Улья- новская обл.	Af, def	2	$\frac{4,1 - 5,1}{4,6}$	$\frac{14,0 - 23,9}{18,5}$	$\frac{4,7 - 5,3}{5,0}$
2018–2020 гг.							
Радомир	Стандарт	РФ, Крас- ноярский край	Af, Def	2	$\frac{4,1 - 8,3}{6,1}$	$\frac{20,0 - 28,3}{24,6}$	$\frac{3,9 - 4,9}{4,3}$
Belinda	к-8356	Нидер- ланды	Af Def	2	$\frac{3,0 - 11,2}{6,4}$	$\frac{9,9 - 35,3}{21,5}$	$\frac{4,2 - 5,0}{4,6}$
Новосиби- рец	к-8677	РФ, Ново- сибирская обл.	Af, def	2	$\frac{1,8 - 10,2}{6,4}$	$\frac{9,6 - 39,3}{24,4}$	$\frac{4,0 - 6,3}{5,5}$
Виктория желтая	к-1755	РФ, Во- ронез- ская обл.	Af, Def	1	$\frac{4,5 - 9,7}{6,3}$	$\frac{13,7 - 44,2}{25,7}$	$\frac{3,2 - 4,3}{3,6}$
Carrera	к-9585	Канада	af, Def	2	$\frac{4,2 - 8,8}{5,9}$	$\frac{10,2 - 37,2}{20,6}$	$\frac{3,9 - 4,7}{4,4}$
2020–2022 гг.							
Радомир	Стандарт	РФ, Крас- ноярский край	Af, Def	2	$\frac{6,2 - 9,6}{7,9}$	$\frac{25,3 - 49,0}{35,9}$	$\frac{4,0 - 4,3}{4,1}$
SH-95-66	к-10010	Болгария	af, def	4	$\frac{3,6 - 10,9}{7,4}$	$\frac{14,4 - 41,0}{28,4}$	$\frac{4,1 - 5,0}{4,5}$
794/95	к-9146	РФ, Мо- сковская обл.	af, def, мн.цв.	1	$\frac{5,5 - 8,8}{7,1}$	$\frac{31,0 - 43,7}{37,4}$	$\frac{4,1 - 4,4}{4,3}$
Фокор	к-9439	РФ, Во- ронезская обл.	af, def, мн.цв.	3	$\frac{3,1 - 8,7}{6,5}$	$\frac{15,1 - 49,0}{31,9}$	$\frac{3,8 - 4,4}{4,1}$
213/95	к-9144	РФ, Мо- сковская обл.	af, def, мн.цв.	3	$\frac{3,8 - 13,0}{6,9}$	$\frac{15,9 - 53,0}{28,7}$	$\frac{3,2 - 3,9}{3,6}$

*Af – листочковый; af – с усатым типом листа; Def – без семяножки; def – со сращенной семяножкой; хам. – хамелеон; мн.цв. – многоцветковый.

Образцы, по семенной продуктивности превышающие стандарт, в совокупности с лучшими технологическими свойствами (устойчивостью к полеганию) целесообразно использовать в качестве источников семенной

продуктивности в условиях Восточной Сибири. Из выборки 2017–2019 гг. таковым является сорт Глянс (к-9636), из выборки 2020–2022 гг. – болгарский образец SH-95-66 (к-10010).

ВЫВОДЫ

1. Средние статистические показатели массы семян с растения по всем выборкам во все периоды изучения уступали стандарту.

2. Из исследуемых образцов коллекции ВИР в условиях региона при объединении образцов по происхождению, по показателю «масса семян с растения» выделялись образцы украинской селекции и Воронежской области, однако в выборках по происхождению, показывающих отрицательные результаты, имелось место лучшим показателям для отдельных об-

разцов (выборка образцов из Болгарии за все периоды исследования минус 42,7%, но образец SH-95-66 (к-10010) показал максимальные показатели за период 2020–2022 гг.).

3. По семенной продуктивности из исследуемых образцов гороха коллекции ВИР, с учетом их технологичности, в качестве источников для селекционной работы в условиях Восточной Сибири рекомендуется использовать образцы Глянс (Украина) и SH-95-66 (Болгария).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сурин Н. А. Итоги и перспективы красноярской селекции // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 11. – С. 5–8. – DOI: 10.53859/02352451_2021_35_11_5.
2. Герасимов С.А. Селекционно- ценные образцы ячменя коллекции ВИР по параметрам адаптивности, продуктивности и качества зерна // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 4 (57). – С. 16–24. – DOI: 10.31677/2072-6724-2020-57-4-16-24.
3. Васина Е.А., Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М. Результаты изучения исходного материала сои в условиях Приморского края для селекционных целей // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2022. – № 183 (4). – С. 19–29. – <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-19-29>.
4. Кожухова Е.В., Орешникова О.П., Новиков В.В. Анализ элементов продуктивности коллекционных образцов гороха // Земледелие. – № 7. – 2021. – С. 44–48. – DOI: 10.24412/0044-3913-2021-7-44-48.
5. Скалозуб О.М., Крючкова Н.Л. Оценка исходного материала для селекции ежи сборной в условиях Приморского края // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 3. – С. 57–64. – DOI: 10.31677/2072-6724-2021-60-3-57-64.
6. Фенотипические признаки, определяющие дифференциацию генофонда гороха (*Pisum sativum* L.) по направлениям использования / Е.В. Семенова, А.П. Бойко, Л.Ю. Новикова, М.А. Вишнякова // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2022. – № 26(7). – С. 599–608. – DOI: 10.18699/VJGB-22-74.
7. Семенова Е.В., Вишнякова М.А. Генетическое разнообразие коллекции гороха ВИР и особенности его использования в селекции в наши дни // 125 лет прикладной ботаники в России: сб. тез. / Всерос. ин-т генет. ресурсов растений им. Н.И. Вавилова. – 2019. – С. 55. – DOI: 10.30901/978-5-907145-39-9.
8. Лепехов Б.С. Методы подбора пар для скрещивания в селекции на урожайность у самоопыляющихся культур // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2017. – № 4, Т. 178. – С. 76–89. – DOI: 10.30901/2227-8834-2017-4-76-89.
9. Parental Selection Strategies in Plant Breeding Programs / I. Bertan, F. I.F. de Carvalho, A. Costa de Oliveira // Journal of Crop Science and Biotechnology. – 2007. – № 10 (4). – P. 211–222.
10. Вавилов Н.И. Ботанико-географические основы селекции: (учение об исходном материале в селекции). – М.; Л.: Сельхозиздат, 1935. – 60 с.
11. Análisis funcional de genes reguladores del desarrollo floral / Berbel Tornero, Ana [et al.]. – Valencia.: Universitat de València, Servei de Publicacions, – 2002. – 296 p.
12. Cloning and expression analysis of voltage dependent anion channel (AhVDAC) gene in the geotropism response of the peanut gynophores / H.F. Li, H. Wei, S.J. Wen [et al.] // Acta Agronomica Sinica (China). – 2022. – Vol. 48, N 6. – P. 1558–1565. – DOI: 10.3724/SP.J.1006.2022.14093; EDN: BUQPM.

13. Kalapchieva S., Kosev V., Vasileva V. Взаимодействие генотип—среда и стабильность количественных признаков у садового гороха (*Pisum sativum* L.) // Сельскохозяйственная биология. – 2022. – № 5, т. 57. – С. 954–964. – DOI: 10.15389/agrobiology.2022.5.965rus.
14. Mohammadi R., Golkari S. Genetic resources for enhancing drought tolerance from a mini-core collection of spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) // Acta Scientiarum. Agronomi. – 2022. – Vol. 4. – P. 2–16. – DOI:10.4025/actasciagron.v44i1.56129.
15. Коллекция генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение / М.А. Вишнякова, Т.В. Сеферова [и др.]; под ред. М.А. Вишняковой. – СПб.: ВИР, 2018. – 143 с.
16. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
17. Витко Г.И. Варьирование элементов структуры урожайности семян и других признаков у посевного гороха // Вестник БГСХА. – 2018. – № 2. – С. 66–72.

REFERENCES

1. Surin N.A., Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2021, No. 11. T. 35, pp. 5–8, DOI: 10.53859/02352451_2021_35_11_5. (In Russ.)
2. Gerasimov S.A., Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet), No. 4 (57), 2020, pp. 16–24, DOI: 10.31677/2072-6724-2020-57-4-16-24. (In Russ.)
3. Vasina E.A., Butovecz E.S., Luk'yanchuk L.M., Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii, 2022, No. 183 (4), pp. 19–29, <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-19-29>. (In Russ.)
4. Kozhuxova E.V., Oreshnikov O.P., Novikov V.V., Zemledelie, No. 7, 2021, pp. 44–48, DOI: 10.24412/0044-3913-2021-7-44-48. (In Russ.)
5. Skalozub O.M., Kryuchkova N.L., Vestnik NGAU, 2021, No. 3, pp. 57–64, DOI: 10.31677/2072-6724-2021-60-3-57-64. (In Russ.)
6. Semenova E.V., Bojko A.P., Novikova L.Yu., Vishnyakova M.A., Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii, 2022, No. 26 (7), pp. 599–608, DOI 10.18699/VJGB-22-74. (In Russ.)
7. Semenova E.V., Vishnyakova M.A., 125 let prikladnoj botaniki v Rossii (125 years of applied botany in Russia), Abstracts of Papers, 2019, pp. 55, DOI: 10.30901/978-5-907145-39-9. (In Russ.)
8. Lepexov B.S., Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii, 2017, No. 4, T. 178, pp. 76–89, DOI: 10.30901/2227-8834-2017-4-76-89. (In Russ.)
9. Bertan I., de Carvalho F.I.F., Costa de Oliveira A., Parental Selection Strategies in Plant Breeding Programs, Journal of Crop Science and Biotechnology, 2007, No. 10 (4), pp. 211–222.
10. Vavilov N.I., Botaniko-geograficheskie osnovy selekcii (uchenie ob isxodnom materiale v selekcii) (Botanical and geographical bases of selection: (the doctrine of the source material in selection)), Moscow; Leningrad: Sel'hozizdat, 1935, 60 p.
11. Berbel Tornero, Ana [et al.], Análisis funcional de genes reguladores del desarrollo floral, Valencia.: Universitat de València, Servei de Publicacions, 2002, 296 p.
12. Li H.F., Wei H., Wen S.J. [et al.], Cloning and expression analysis of voltage dependent anion channel (AhVDAC) gene in the geotropism response of the peanut gynophores, Acta Agronomica Sinica (China), 2022, Vol. 48, No 6, pp. 1558–1565, DOI 10.3724/SP.J.1006.2022.14093; EDN BUQQPM.
13. Kalapchieva S., Kosev V., Vasileva V., Sel'skoxozyajstvennaya biologiya, 2022, No. 5, T. 57, pp. 954–964, DOI: 10.15389/agrobiology.2022.5.965rus. (In Russ.)
14. Mohammadi R., Golkari S., Genetic resources for enhancing drought tolerance from a mini-core collection of spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.), Acta Scientiarum. Agronomi, 2022, Vol. 4, pp. 2–16, DOI:10.4025/actasciagron.v44i1.56129.
15. Vishnyakova M.A., Seferova T.V., Buravceva [i dr.], Kollekcija geneticheskix resursov zernovy'x bobovy'x VIR: popolnenie, soxranenie i izuchenie (Collection of genetic resources of cereal legumes VIR: replenishment, conservation and study), Sankt-Peterburg: VIR, 2018, 143 p.
16. Dospexov B.A., Metodika polevogo opy'ta (Methodology of field experience), Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.
17. Vitko G.I., Vestnik BGSXA, 2018, No. 2, pp. 66–72. (In Russ.)

ИЗМЕНЧИВОСТЬ РЕПРОДУКТИВНЫХ КАЧЕСТВ СЕМЯН *CLARKIA AMOENA* (LEHM.) A. NELSON & J.F. MACBR.) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКА ХРАНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ *EX SITU*

Е.В. Королева, специалист ландшафтного центра

Новосибирский государственный аграрный университет,

Новосибирск, Россия

E-mail: coroleva-nsk@yandex.ru

Ключевые слова: *Clarkia amoena*, жизнеспособность, энергия прорастания, масса 1000 семян, долговечность семян, срок хранения, разнокачественность семян, *ex situ*, корреляция, регрессионный анализ.

Реферат. Представлены результаты оценки репродуктивных качеств семян *Clarkia amoena* (Lehm.) A. Nelson & J.F. Macbr.) при хранении в лабораторных условиях (температура 20–22 °C). Семена хранились в лабораторном шкафу в бумажных пакетах в течение 8 лет. Образцы семян были выделены из коробочек разной степени зрелости (открытых и закрытых) и разного местоположения на материнском растении (побеги разных порядков). Было выделено три группы по местоположению на материнском растении: 1) 64 образца семян, сформированных на главном стебле (побег первого порядка); 2) 64 образца семян, сформированных на побегах второго порядка; 3) 64 образца семян, сформированных на побегах третьего порядка и две группы по степени зрелости плодов: открытые и закрытые коробочки. Всего – 192 образца семян. Определение качества семян проводили ежегодно, в апреле, согласно ГОСТ 24933.0-81 на семена цветочных культур. Исходная лабораторная всхожесть семян варьировала от 69 % у образцов семян, выделенных из закрытых коробочек с побегов третьего порядка, до 97 % у образцов семян, взятых из открытых коробочек главного стебля, и уменьшалась с увеличением периода хранения семян при линейном уравнении регрессии $Y = 7,673 - 0,064x$, где Y – срок хранения, X – всхожесть семян. Масса 1000 семян за 8 лет хранения снизилась у образцов с главного стебля на 37,2 % из открытых коробочек и на 30,3 % – из закрытых; с побегов второго порядка – на 43,6 и 46,8; с побегов третьего порядка – на 46,1 и 50,9 % соответственно. В среднем для всех образцов, масса 1000 семян за 8 лет хранения уменьшилась на 0,2 г. В результате проведенного регрессионного и корреляционного анализа (коэффициент Пирсона) были определены достоверные отрицательные зависимости влияния срока хранения на энергию прорастания семян ($r = -0,849$), всхожесть ($r = -0,853$) и массу 1000 семян ($r = -0,790$). Сильная положительная корреляция наблюдалась между массой и жизнеспособностью семян ($r = 0,886$). За 8 лет хранения семена с главного стебля снизили всхожесть до 18–23 %, что на 78–74 % ниже первоначальной, с побегов второго порядка – еще вдвое, а семена с побегов третьего порядка полностью утратили жизнеспособность. Была построена многомерная модель взаимодействия факторов: срока хранения и порядка побега на жизнеспособность семян в условиях *ex-situ*, которая наглядно подтвердила, что жизнеспособность семян *Clarkia amoena* сохраняется в течение 4–5 лет.

VARIABILITY OF REPRODUCTIVE SEED QUALITY IN *CLARKIA AMOENA* (LEHM.) A. NELSON & J.F. MACBR.) DEPENDING ON STORAGE DURATION UNDER *EX SITU* CONDITIONS

E.V. Koroleva, Landscape Center Specialist

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: coroleva-nsk@yandex.ru

Keywords: *Clarkia amoena*, viability, germination energy, 1000-seed mass, seed longevity, storage duration, seed heterogeneity, *ex situ*, correlation, regression analysis.

Abstract. This paper presents the results of assessing the reproductive seed quality of *Clarkia amoena* (Lehm.) A. Nelson & J.F. Macbr) seeds during storage under laboratory conditions (temperature 20–22 °C). The seeds were stored in paper bags for eight years. The authors selected seed samples from pods of varying degrees of maturity (open and closed) and different positions on the mother plant (branches of other orders). The authors set up three groups based on their location on the mother plant: 1) Sixty-four seed samples were formed on the main stem (first-order branches); 2) Sixty-four seed samples were created on second-order branches; 3) Sixty-four seed samples

were created on third-order branches and two groups based on fruit maturity: open and closed pods. In total, 192 seed samples were evaluated. Seed quality assessment was conducted annually in April, following GOST 24933.0-81 standards for flower crop seeds. The initial laboratory germination of seeds ranged from 69% for samples taken from closed pods on third-order branches to 97% for samples taken from open pods on the main stem. It decreased with an increase in the seed storage period according to a linear regression equation: $Y = 7.673 - 0.064X$, where Y is the storage duration, and X is the seed germination rate. Over eight years of storage, the 1000-seed mass decreased by 37.2% for samples from the main stem's open pods and 30.3% for samples from closed pods, by 43.6% and 46.8% for second-order branches, and by 46.1% and 50.9% for third-order extensions, respectively. On average, the 1000-seed mass decreased by 0.2 g for all samples over eight years of storage. Regression and correlation analyses (Pearson's coefficient) revealed significant negative relationships between storage duration and seed germination energy ($r = -0.849$), germination rate ($r = -0.853$), and 1000-seed mass ($r = -0.790$). A strong positive correlation was observed between seed mass and viability ($r = 0.886$). Over eight years of storage, seeds from the main stem lost their germination rate to 18–23%, significantly lower than the initial rate. In contrast, second-order branch seeds decreased by half, and roots from third-order branches completely lost viability. A multidimensional model of the interaction of factors—storage duration and branch order—on seed viability under ex-situ conditions was constructed, demonstrating that the overall viability of *Clarkia amoena* seeds is maintained for 4–5 years.

Семена – это репродуктивная основа сохранения биологического разнообразия [1]. Адаптивная способность видов к выживанию в резко изменяющихся климатических условиях в сторону потепления климата зависит от долговременно сохраняющихся банков семян [2]. Автор полностью поддерживает мнение К. Г. Ткаченко о влиянии на качество семян «степени их сформированности, или “зрелости (полнозёрности)”, которая зависит от календарных сроков цветения растений и условий для опыления (наличия опылителей), климатических условий конкретного года, региона произрастания, агрофона и обеспеченности элементами питания в период формирования генеративных диаспор» [3].

На репродуктивные качества семян кларкии прелестной (*C. amoena* (Lehm.) A. Nelson & J.F. Macbr.) сильно влияют климатические факторы в момент оплодотворения и формирования диаспор на материнском растении, а также условия и период хранения.

Кларкия прелестная (*C. amoena*) – декоративно-цветущее однолетнее травянистое растение из семейства Onagraceae, родина которого – западная часть Северной Америки, введено в культуру в 1838 г. [6]. Она отличается множеством форм и окрасок, продолжительным и обильным цветением, длительным распусканьем бутонов в срезке, а также устойчивостью к заморозкам до -3°C , что делает этот вид перспективным для использования в цветочном оформлении урбанистических территорий юга Западной Сибири, а также для промышленного цветоводства и фитодекора.

В предыдущем исследовании мы выяснили, что для формирования зрелых семян *C. amoena* сорта Малиновая чаша, обладающих высокими репродуктивными качествами, на юге Западной Сибири самые благоприятные условия скла-

дывались в календарный период с 20 июля по 10 августа, когда среднесуточная температура воздуха не опускалась ниже $19,5^{\circ}\text{C}$, было умеренно влажно (ГТК 1,0) и сумма активных температур выше 15°C составляла 398°C [7]. Репродуктивные качества семян оценивались нами с позиции жизнеспособности, основным общепринятым параметром которой является способность к прорастанию, или всхожесть [8].

Сорт кларкии прелестной Малиновая чаша (представитель рода *Clarkia* Pursh, в настоящее время включен в реестр селекционных достижений) отличается высокими декоративными качествами, продолжительным периодом декоративности (60–75 дней), холодостойкостью и способностью длительно храниться (до 10–14 дней) и распускать бутоны в срезке. Растения имеют высоту 30–40 см, используются для оформления различных цветников, рабаток, групп, мавританских газонов, миксбордеров, также подходят для контейнеров и срезки [9].

Для развития промышленного цветоводства и садоводства необходим семенной материал однолетних цветочных растений с высокими сортовыми и посевными качествами, выращенный в своем регионе [10]. На российский рынок часто поступают низкосортные, некондиционные семена без документов, неизвестного происхождения и срока годности [11]. Имеющиеся в литературе данные по жизнеспособности семян кларкии прелестной сильно разнятся: 1–2 года [12]; 2 года [13,14]; 2–3 года [15]; 3–5 лет [16]. Семена, как регенеративные единицы видов растений демонстрируют различия по срокам жизнеспособности, характеризующим устойчивость вида в естественных условиях, но их корреляции с другими биометрическими показателями остаются малоизученными. Поэтому для сохранения генофонда *C. amoena* в условиях ex situ была поставлена цель – оце-

нить жизнеспособности семян в зависимости от срока хранения, порядка побега, степени зрелости коробочки и массы семян.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Репродуктивные качества семян *C. amoena* с учетом разнокачественности происхождения на материнском растении изучали в течение 8 лет, используя методики Л.Л. Еременко [17], Р.Е. Левиной [18], И.В. Вайнагий [19] и методические указания по семеноведению интродуцентов [20]. В исследование были включены семена 2010 г. отбора кларкии прелестной с малиновой окраской цветков от светлых до насыщенных пурпурных оттенков со светлой каймой по краю и основанию лепестка, который был зарегистрирован в Госсортокомиссии РФ в 2021 г. под названием Малиновая чаша [7]. Место репродукции семян – учебно-производственное хозяйство «Сад мичуринцев» Новосибирского государственного аграрного университета (55.0312880° с.ш., 82.9903190° в.д.). Определяли всхожесть семян с побегов разных порядков (топографическая разнокачественность) и с учетом разной степени созревания плодов и семян (матуральная разнокачественность) [6]. Было выделено три группы по местоположению на материнском растении: первая – 64 образца семян, сформированных на главном стебле (побег первого порядка); вторая – 64 образца семян, сформированных на побегах второго порядка; третья – 64 образца семян, сформированных на побегах третьего порядка, и две группы по степени зрелости плодов: семена выделенные из открытых (зрелых) и закрытых коробочек. Всего – 192 образца семян.

Для определения срока сохранения репродуктивной способности семян кларкии прелестной мы использовали режим хранения в условиях лаборатории (при температуре 20–22°C) в бумажных пакетах. Мониторинг за сохранением репродуктивных качеств семян выделенных нами групп с учетом их местоположения на материнском растении и степени зрелости плодов проводили ежегодно в течение 8 лет в один и тот же период – в апреле, не ранее чем через 6 месяцев хранения. Определение всех показателей репродуктивных качеств семян выполнено в четырех повторениях. Жизнеспособность семян учи-

тывали по количеству живых семян, дающих нормально-развитые проростки, выраженному в процентах [21]. Исходные показатели жизнеспособности были равны показателям через 6 месяцев хранения и поэтому учитывались по первому году хранения. Пробы закладывали в чашки Петри по 100 шт. семян с побегов первого и второго порядков и по 50 семян с побегов третьего порядка между слоями увлажненной дистиллированной водой фильтровальной бумаги. Проращивали семена в термостате при температуре 20 °C. Энергию прорастания определяли на 5-е, а всхожесть – на 10-е в соответствии с ГОСТ 24933.0-81 на семена цветочных культур [22]. Мы согласны с учеными Г.Н. Алексейчук и Н.А. Ламан в том, что энергия прорастания семян является характеристикой дружности прорастания семян, т.е. «количество семян, нормально проросших за более короткий срок, установленный для каждой культуры» [8]. Массу 1000 шт. семян определяли согласно международным правилам определения качества семян [23]. Были проведены регрессионный и двухфакторный дисперсионный анализы данных на базе программного обеспечения Minitab. Для определения корреляционных связей использовался коэффициент корреляции Пирсона.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для сохранения репродуктивных качеств семян важное значение имеет местоположение соцветия на материнском растении (топографическая неоднородность), а также степень зрелости плода (матуральная неоднородность). Семена с главного стебля (побега первого порядка) обладали наиболее высокими продуктивными свойствами и жизнеспособностью в течение длительного периода хранения (табл. 1).

Репродуктивные качества семян *C. amoena* (энергия прорастания и всхожесть) с увеличением периода хранения снижаются на всех порядках побегов. Энергия прорастания семян или дружность всходов кларкии прелестной в условиях *ex situ* как из открытых, так и из закрытых коробочек имеет тенденцию к снижению (рис. 1).

**Влияние срока хранения семян на репродуктивные качества
(средние значения по 4 повторностям)**

Influence of seed storage duration on reproductive quality (average values over four replicates)

Порядок побега, зрелость плода	Показатель	Срок хранения, семян, лет							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Главный стебель, открытые коробочки	Энергия прорастания, %	85	83	76	68	55	31	16	10
	Всхожесть, %	97	93	88	74	65	45	40	23
	Масса 1000 шт, г	0,572	0,532	0,480	0,459	0,451	0,435	0,405	0,359
Главный стебель, закрытые коробочки	Энергия прорастания, %	80	78	73	59	49	29	14	8
	Всхожесть, %	96	90	89	76	63	45	38	18
	Масса 1000 шт, г	0,518	0,487	0,481	0,453	0,447	0,415	0,386	0,361
Побеги второго порядка, открытые коробочки	Энергия прорастания, %	75	73	69	39	44	28	11	7
	Всхожесть, %	92	89	83	65	59	34	24	12
	Масса 1000 шт, г	0,493	0,458	0,464	0,450	0,444	0,411	0,355	0,278
Побеги второго порядка, закрытые коробочки	Энергия прорастания, %	73	70	55	42	29	18	10	6
	Всхожесть, %	89	85	66	62	46	28	21	11
	Масса 1000 шт, г	0,485	0,433	0,440	0,434	0,427	0,400	0,356	0,258
Побеги третьего порядка, открытые коробочки	Энергия прорастания, %	65	60	25	10	9	9	9	0
	Всхожесть, %	75	70	55	24	23	17	15	3
	Масса 1000 шт, г	0,449	0,451	0,453	0,440	0,315	0,285	0,268	0,242
Побеги третьего порядка, закрытые коробочки	Энергия прорастания, %	62	55	24	10	8	8	0	0
	Всхожесть, %	69	65	52	21	18	17	16	0
	Масса 1000 шт, г	0,446	0,445	0,442	0,397	0,291	0,261	0,259	0,219
Среднее значения за год (n=24)									
Энергия прорастания		74 ± 9,9* (67,9; 80,2)	70 ± 10,5 (63,8; 75,9)	54 ± 22,2 (47,7; 59,9)	37 ± 23,5 (31,3; 43,5)	32 ± 19,7 (25,9; 38,2)	17 ± 10,9 (10,4; 22,6)	10 ± 6,4 (3,9; 16,1)	5 ± 5,8 (-1,0; 11,1)
Всхожесть		86 ± 10,5 (79,4; 92,1)	82 ± 10,9 (75,9; 88,5)	72 ± 15,7 (65,8; 78,5)	53 ± 24,6 (46,8; 59,5)	44 ± 21,7 (37,6; 50,3)	25 ± 14,3 (18,2; 30,8)	26 ± 11,4 (19,2; 31,9)	11 ± 9,4 (4,6; 17,3)
Масса 1000 семян		0,494 ± 0,05 (0,47; 0,51)	0,469 ± 0,03 (0,45; 0,49)	0,459 ± 0,02 (0,44; 0,48)	0,439 ± 0,02 (0,42; 0,46)	0,396 ± 0,06 (0,37; 0,42)	0,368 ± 0,07 (0,35; 0,39)	0,338 ± 0,06 (0,32; 0,36)	0,286 ± 0,06 (0,26; 0,31)

* Среднее значение ± стандартное отклонение, в скобках – доверительный интервал (95 % CI).

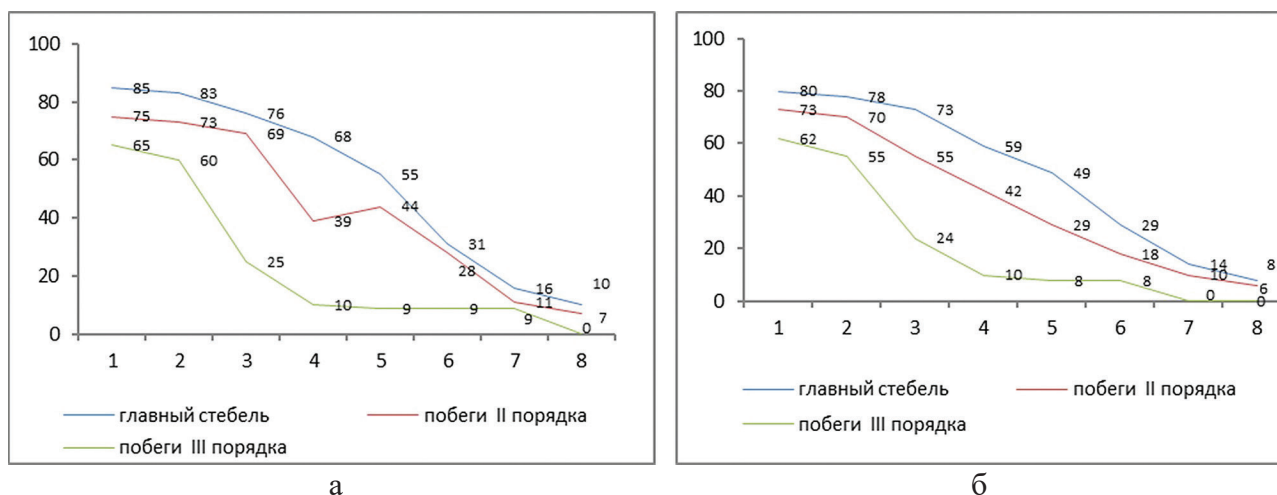


Рис. 1. Динамика энергии прорастания семян *Clarkia amoena* в зависимости от срока хранения: а) из открытых коробочек; б) из закрытых коробочек

Dynamics of germination energy of *Clarkia amoena* seeds depending on storage duration: a) from open pods; b) from closed pods

У семян из открытых коробочек на 8-й год хранения энергия прорастания снижается: на главном стебле на 75 %, на побегах второго порядка – на 68 %, а на побегах третьего порядка теряется полностью. Дружность прорастания в условиях *ex situ* сохраняется: на главном стебле на уровне 55 % до 5 лет хранения, на 6-й год снижается до 31 % и через 8 лет становится низкой – 10 %; на побегах второго порядка на 5-й год хранения энергия прорастания составляет 44 %, что ниже на 11 %, чем на главном стебле, и выше на 35 %, чем на побегах третьего порядка, на шестой год она снижается на 16 % и через 8 лет становится очень низкой – 7 %, что ниже на 68 % от исходной; на побегах третьего порядка дружность прорастания становится значительно ниже – 25 % уже через 3 года хранения, а с 4-го по 7-й годы хранения держится на примерно одинаковом низком уровне – 9 % и к 8-му году хранения полностью теряется.

Семена из закрытых коробочек имеют схожий график снижения энергии прорастания семян на побегах: на главном стебле через 8 лет хранения она снижается на 72 %, на побегах второго порядка – на 67 %, а на побегах третьего порядка энергия прорастания теряется уже на 7-й год хранения. Дружность прорастания на пятый год хранения семян сохраняется на уровне 49 % на главном стебле, что ниже исходного значения на 31 %, на побегах второго

порядка уменьшается на 44 % и составляет 29 %, а самые низкие значения – 8 % наблюдались на побегах третьего порядка, где скорость прорастания снижается на 54 %.

Общий показатель дружности прорастания семян всех образцов *C. amoena* за 5 лет хранения снизился на 42 % и составил 32 %, а за 8 лет хранения – на 69 % и составил 5 %.

Всхожесть семян *C. amoena* в условиях *ex situ* с течением времени хранения семян также снижается на всех порядках побегов (рис. 2).

Удельный вес жизнеспособных семян кларкии, собранных из открытых коробочек с главных соцветий, через 5 лет хранения снизился на 32 %, а через 8 лет – на 74 %. Похожая тенденция наблюдалась у семян, собранных из открытых коробочек с побегов второго и третьего порядка, – всхожесть через 5 лет хранения снизилась на 33 и 55 %, а через 8 лет хранения – на 80 и 72 % соответственно.

Исходная всхожесть семян, собранных из закрытых коробочек, была незначительно ниже, чем из открытых. Так, на главном стебле доля жизнеспособных семян через 5 лет хранения снизилась на 33 %, через 8 лет хранения – на 78 %; на побегах второго порядка всхожесть через 5 лет уменьшилась на 43 %, через 8 лет – на 78 %; на побегах третьего порядка через 5 лет была ниже на 52 %, а через 8 лет жизнеспособность семян была полностью утеряна.

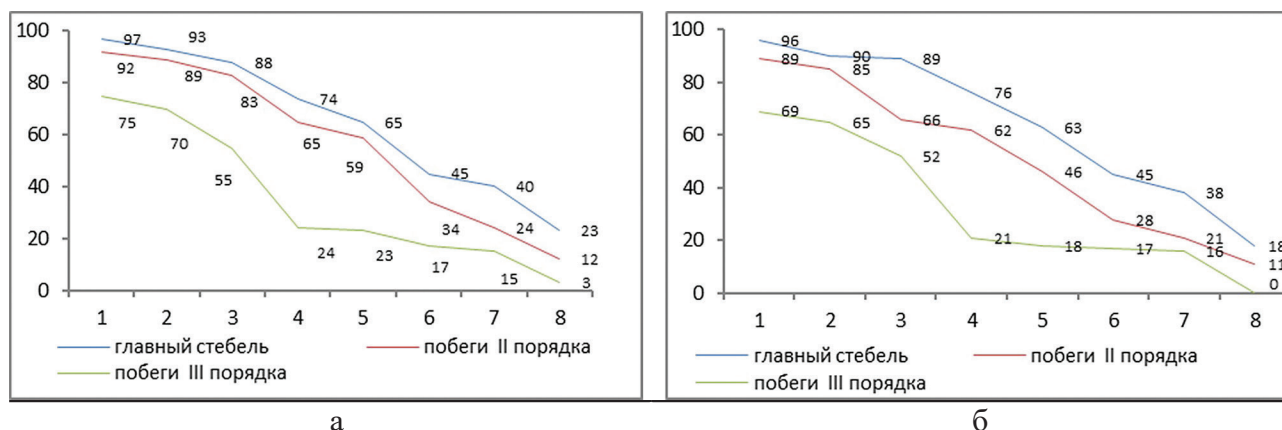


Рис. 2. Динамика всхожести семян *Clarkia amoena* на побегах разных порядков в зависимости от срока хранения: а) из открытых коробочек; б) из закрытых коробочек.

Germination rate dynamics of *Clarkia amoena* seeds on branches of different orders depending on storage duration: а) from open pods; б) from closed pods

Обобщенный показатель жизнеспособности семян за 5 лет хранения снизился на 42 %, а через 8 лет хранения – на 75 % и составил 11 % (рис. 3).

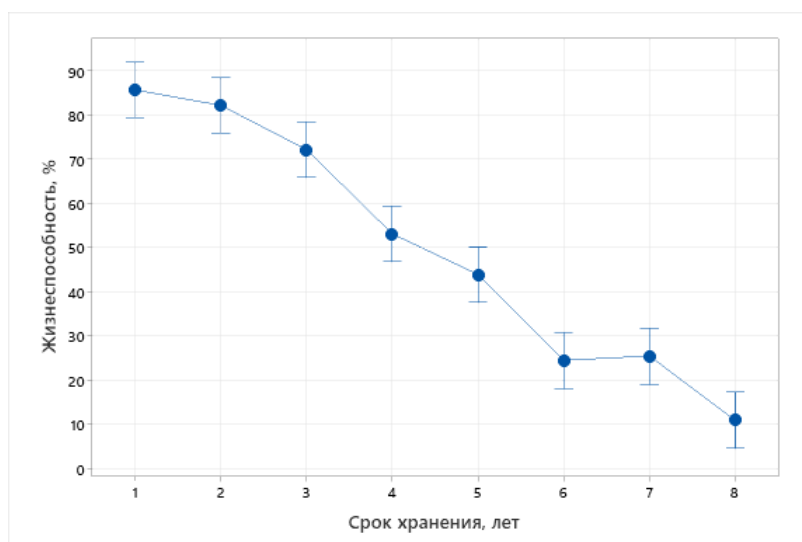


Рис. 3. Динамика общей жизнеспособности семян *Clarkia amoena* в зависимости от срока хранения (для расчета интервалов использовалось стандартное отклонение – доверительный интервал 95 %)

Total viability dynamics of *Clarkia amoena* seeds depending on storage duration (95% confidence intervals used for calculations)

Биометрические показатели исходной массы семян были выше на 0,08 и 0,12 г у образцов, выделенных из открытых коробочек главного стебля, по сравнению с образцами, собранными с побегов второго и третьего порядков.

В период хранения масса 1000 семян, собранных из открытых коробочек на главном стебле, снизилась на 0,213 г (37,2 %) и варьировала в пределах срока хранения: в 1-й год – от 0,572 г, через 5 лет – 0,451 и до 0,359 г за весь период хранения; на побегах второго порядка

масса снизилась на 0,215 г (43,6 %) и колебалась в пределах от 0,493 г в первый год, 0,444 – через 5 лет и до 0,278 г через 8 лет; на побегах третьего порядка масса семян снизилась на 0,210 г (46,1 %) и колебалась в пределах от 0,449 г в первый год хранения, 0,315 – через 5 лет и до 0,242 г через 8 лет.

Наблюдения за изменением показателя крупности и выполненности семян образцов, выделенных из закрытых коробочек разных порядков побегов, показали незначительную разницу в сравнении с открытыми коробочка-

ми. На главном стебле за 8 лет хранения масса 1000 семян снизилась почти на 0,16 г (30,3 %), на побегах второго и третьего порядков – на 0,23 г (48,5 %).

Обобщенный показатель крупности семян за 5 лет хранения снизился примерно на 0,1 г, а за 8 лет хранения – на 0,2 г.

Вероятность прорастания семян коррелирует с массой 1000 семян: чем больше масса семени, тем выше энергия прорастания ($r = 0,836$) и всхожесть ($r = 0,886$) кларкии (табл. 2, рис. 4).

Таблица 2

Корреляционная зависимость показателей жизнеспособности семян от срока хранения
Correlation relationship of seed viability indicators with storage duration

Показатель	Срок хранения	Всхожесть, %	Энергия прорастания, %
Энергия прорастания семян, %	- 0,849* (- 0, 884, - 0,804)	0,975 (0,967, 0,981)	-
Всхожесть семян, %	- 0,853 (- 0,887; -0,809)	-	0,975 (0,967; 0,981)
Масса 1000 семян, г	-0,790 (-0,838; -0,730)	0,886 (0,851; 0, 913)	0,836 (0,787; 0,874)

* коэффициент корреляции Пирсона, в скобках - доверительный интервал (95 % CI)

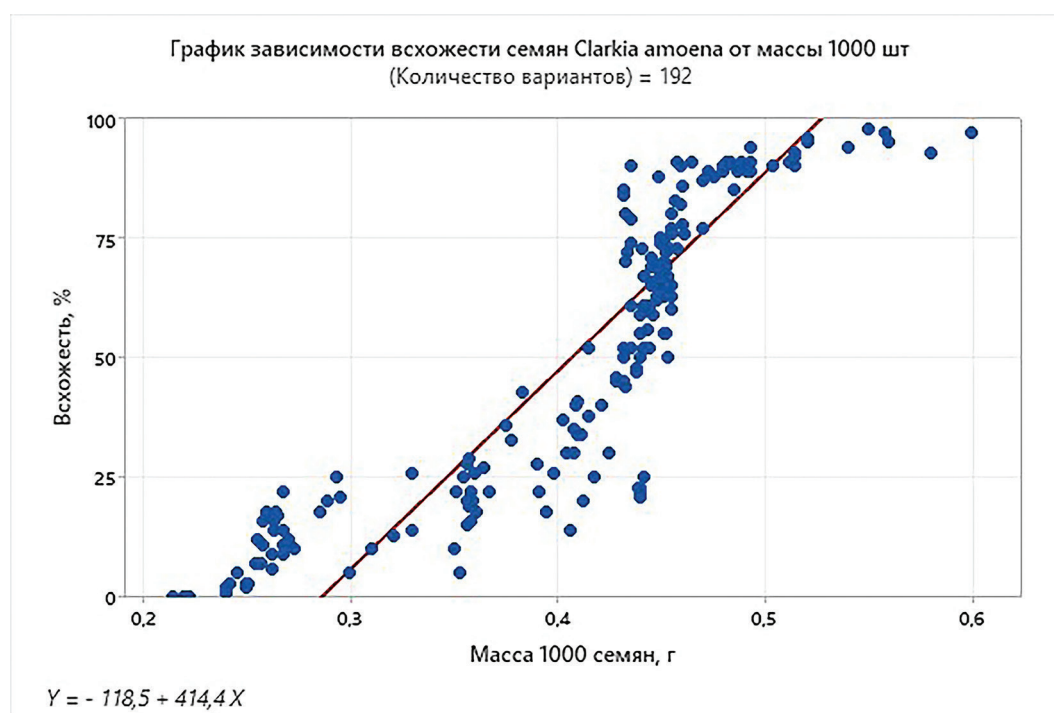


Рис. 4. Линия регрессии зависимости лабораторной всхожести семян от массы 1000 семян: Y – всхожесть семян; X – масса 1000 семян

Regression line of seed germination rate depending on 1000 – Seed Mass: Y – seed germination rate; X – 1000 – seed mass

Но при этом с увеличением срока хранения снижается масса семян ($r = - 0,790$) (рис. 5) и посевные качества, выявлены достоверные

отрицательные корреляции с энергией прорастания семян ($r = - 0,849$) и лабораторной всхожестью ($r = - 0,853$) (рис. 6).

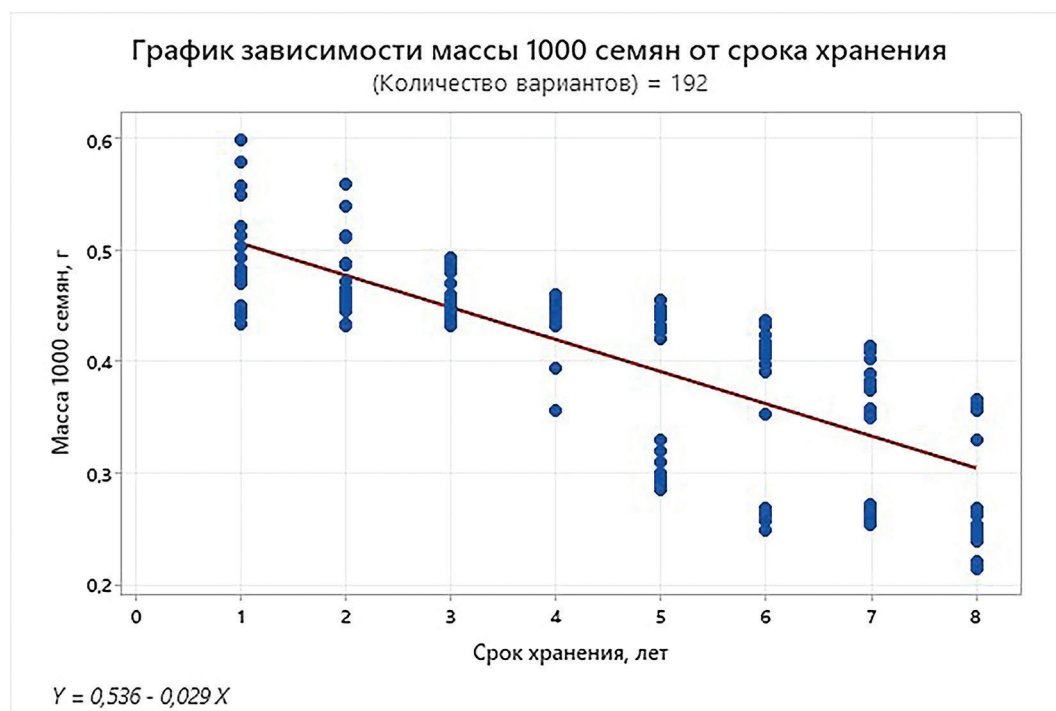


Рис. 5. Линия регрессии зависимости массы 1000 семян от срока хранения: Y – масса 1000 семян; X – срок хранения

Regression line of 1000 - seed mass depending on storage duration: Y – 1000-seed group; X – storage duration

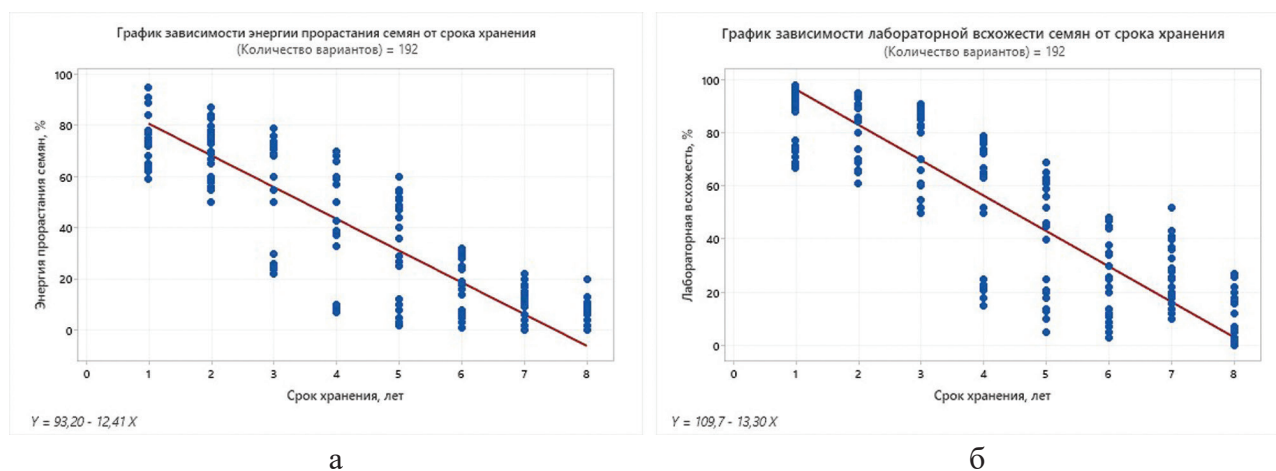


Рис. 6. Линии регрессии зависимости: а) энергии прорастания семян от срока хранения семян, где Y – энергия прорастания семян, %; X – срок хранения, лет; б) всхожести семян от срока хранения, где Y – лабораторная всхожесть семян, %; X – срок хранения, лет

Regression Lines of Dependency: а) Germination Energy of Seeds on Storage Duration, where Y – Germination Energy of Seeds, %; X – Storage Duration, Years; б) Seed Germination Rate on Storage Duration, where Y – Laboratory Germination Rate of Seeds, %; X – Storage Duration, Years

Нами был проведен двухфакторный анализ влияния срока хранения и порядка побега на

жизнеспособность семян *C. amoena* и построена модель взаимодействия факторов (рис. 7).

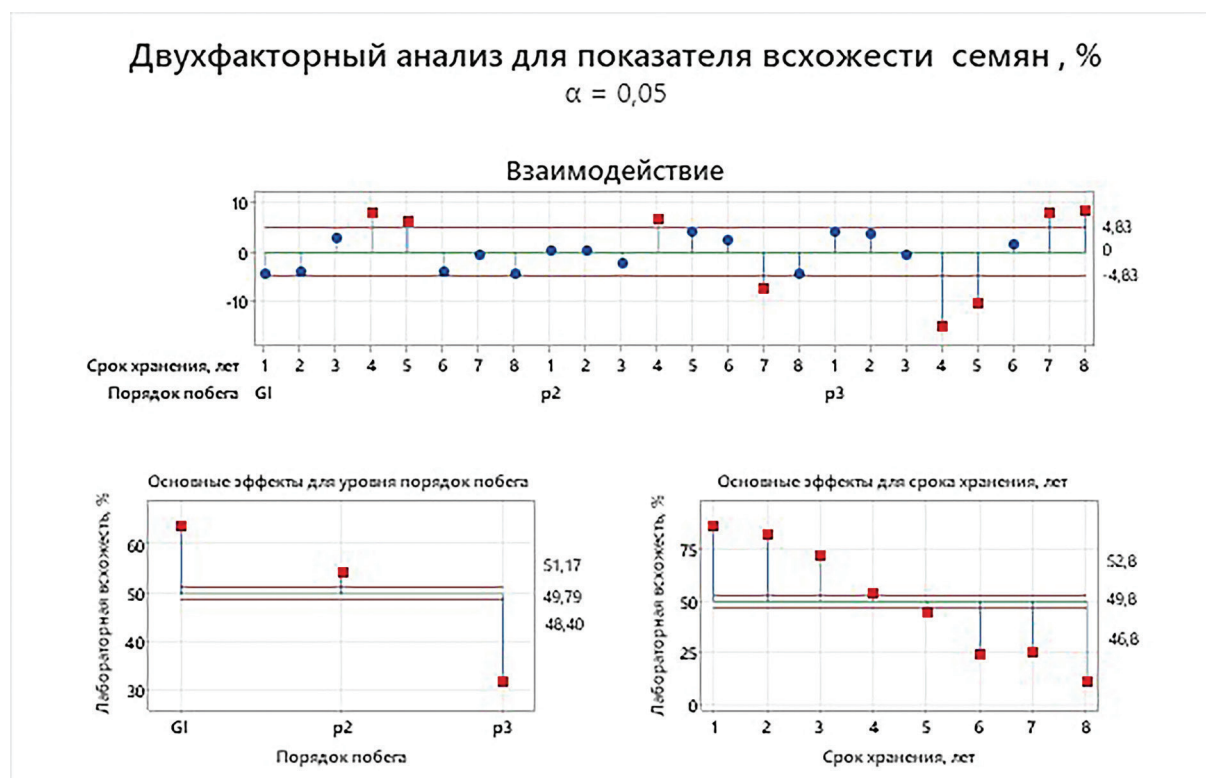


Рис. 7. Двухфакторная модель влияния срока хранения и порядка побега на жизнеспособность семян *Clarkia amoena*: G1 – главный стебель; p2 – побеги второго порядка, p3 – побеги третьего порядка

A two-factor model of storage duration and branch order influence on *Clarkia amoena* seed viability: G1 – Main Stem; p2 – Second-Order Branches; p3 – Third-Order Branches.

Данная модель наглядно демонстрирует, что самый высокий уровень жизнеспособности наблюдался на главном стебле – в течение 4-5 лет; на побегах второго порядка – до 4 лет хранения, а на побегах третьего порядка – до 2 лет. Лучшей жизнеспособностью отличаются семена кларкии прелестной, отобранные с главных соцветий, семена с побегов второго порядка обладают жизнеспособностью чуть выше среднего уровня жизнеспособности (51,17 %), а семена с побегов третьего порядка характеризуются самым низким уровнем жизнеспособности (30 %).

ВЫВОДЫ

1. Репродуктивные качества семян кларкии прелестной через 8 лет хранения в условиях лаборатории во всех образцах семян были сильно снижены по сравнению с исходными, при этом на семенах с главного стебля всхожесть была в пределах 18–23 %, с побегов второго порядка – в 2 раза ниже, а семена с побегов третьего порядка были практически невсхожими.

2. На жизнеспособность семян сильно влияет местоположение коробочек на материнском растении, или топографическая изменчивость.

Семена с главного стебля (побега первого порядка) обладали наиболее высокими репродуктивными свойствами и жизнеспособностью в течение длительного периода хранения, а с побегов второго и третьего порядка наименьшими. Семена, образованные на побегах третьего порядка, обладали наименьшей первоначальной всхожестью, а через 8 лет хранения их репродуктивные свойства полностью были утрачены.

3. Матуральная изменчивость на протяжении всего периода хранения семян влияла на репродуктивные качества: энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян. Образцы семян из открытых коробочек обладали более высокими показателями жизнеспособности по сравнению с семенами из закрытых коробочек.

4. Проведенные корреляционный и регрессионный анализы выявили наиболее значимые отрицательные связи ($p < 0,0001$) между энергией прорастания семян *C. amoena* и сроком хранения ($r = -0,849$), лабораторной всхожестью и сроком хранения ($r = -0,853$), массой 1000 семян и сроком хранения ($r = -0,790$).

5. Жизнеспособность и дружность прорастания семян *C. amoena* сильно зависят от массы 1000 семян. Чем больше масса 1000 семян, тем

выше всхожесть ($r = 0,886$) и энергия прорастания семян ($r = 0,836$).

6. Семена *C. amoena* сохраняют высокий потенциал жизнеспособности с учетом месторасположения на материнском растении: собранные на главном стебле – в течение 5 лет (всхожесть 63–65 %); на побегах второго по-

рядка – в течение 4 лет (всхожесть 62–65 %); на побегах третьего порядка – в течение 2 лет (всхожесть 65–70%).

7. Общий срок жизнеспособности семян *C. amoena* в условиях *ex-situ* – 4–5 лет на уровне 44–53%, затем она резко снижается и через 8 лет хранения составляет не более 11%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Терехин Э.С. Семя и семенное размножение. – СПб.: Мир и семья-95, 1996. – 377 с.
2. Baskin C.C., Baskin J.M. Plant regeneration from seeds: a global warming perspective. [Электронный ресурс]. – San Diego, CA: Academic Press, 2022. – URL: <http://www.ibot.cas.cz/personal/pysek/pdf/Gioria,%20Osborne,%20Pysek-Soil%20seed%20banks%20under%20warming%20climate.%20In%20Baskin%20&%20Baskin,%20Academic%20Press%202022.pdf> (дата обращения: 16.01.2023).
3. Ткаченко К.Г. Разнокачественность плодов и семян, определяющая ритмы развития особей нового поколения // Hortus Botanicus. – 2020. – Т. 15. – С. 228–248.
4. *Correlated evolution of seed mass and genome size varies among life forms in flowering plants* / A. Carta, E. Mattana, J. Dickie, F. Vandeloos // Seed Science Research, 2022. – № 32, pp. 46–52. – <https://doi.org/10.1017/S0960258522000071>.
5. Baskin C.C., Baskin J.M. Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. [Электронный ресурс]. – San Diego CA: Academic Press, 1998. – 666 p. – URL: https://toc.library.ethz.ch/objects/pdf03/e05_978-0-12-416677-6_01.pdf. (дата обращения: 10.06.2028).
6. *Plant Atlas 2020: Mapping Changes in the Distribution of the British and Irish Flora* / P.A. Stroh, K.J. Walker, T.A. Humphrey [et al.] [Электронный ресурс]. – Princeton University Press, 2023. – P. 474. – URL: <https://doi.org/10.2307/j.ctv2x6f08m>. (дата обращения: 10.08.2023).
7. Королева Е.В. Разнокачественность семян нового сорта *Clarkia amoena* Малиновая чаша на юге Западной Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 2 (67). – С. 60–74.
8. Алексейчук Г.Н., Ламан Н.А. Физиологическое качество семян сельскохозяйственных культур и методы его оценки. – Минск: Право и экономика. – 2005. – 48 с.
9. Реестр селекционных достижений. [Электронный ресурс]. – URL: <https://reestr.gossortrf.ru/sorts/7853728/> (дата обращения: 10.06.2023).
10. Савва В.Г. Интродукция однолетних декоративных растений в Молдовии. – Кишинев: Штиинца, 1986. – 275 с.
11. Королева Е.В., Петров А.Ф., Чудинова Ю.В. Формирование генетической коллекции сортов однолетних цветочных культур рода *Clarkia Pursh* на базе Новосибирского ГАУ и оценка посевных качеств семян // Селекция, семеноводство, технология возделывания и переработка сельскохозяйственных культур: материалы междунар. науч.-практ. конф., Краснодар, 26–27 авг. 2021 г. – Краснодар: ЭДВИ, 2021. – С. 104–110.
12. Сроки хранения семян цветов. [Электронный ресурс]. – URL: <https://sysertnews.ru/news/3-1952.html> (дата обращения: 10.06.2023).
13. *The Germination Explanation: How Long Do Seeds Last?* [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.superseeds.com/blogs/know-your-roots/the-germination-explanation-how-long-do-seeds-last> (дата обращения: 10.06.2023).
14. *Seed Saving for Beginners* [Электронный ресурс]. – URL: https://www.fedcoseeds.com/seeds/seed_saving.htm (дата обращения: 10.06.2023 г.).
15. *Seed Viability & How To Store Your Garden Seeds* [Электронный ресурс]. – URL: <https://frostygarden.com/topics/seed-viability-store-garden-seed/> (дата обращения: 10.06.2023 г.).
16. Годен до... Сколько могут храниться семена цветов? [Электронный ресурс]. – URL: https://aif.ru/dacha/flowers/goden_do_skolko_mogut_hranitsya_semena_cvetov (дата обращения: 10.06.2023).

17. Ерёменко Л.Л. О методе изучения формирования семян овощных культур // Научные вопросы семеноводства, семеноведения и контрольно семенного дела. – Киев, 1962. – С. 168.
18. Левина Р.Е. Репродуктивная биология семенных растений (обзор проблемы). – М.: Наука, 1981. – 96 с.
19. Вайнагий И.В. О методике изучения семенной продуктивности растений // Ботанический журнал. – 1974. – Т. 59, № 6. – С. 826–831.
20. Методические указания по семеноведению интродуцентов. – М.: Наука, 1980. – 64 с.
21. Николаева М.Г., Лянгузова И.В., Поздова Л.М. Биология семян. – С-Пб.: НИИ химии СПбГУ, 1999. – 231 с.
22. Семена цветочных культур. Методы определения всхожести и энергии прорастания семян [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/138/13865.pdf> (дата обращения: 16.01.2023).
23. Международные правила определения качества семян / пер. с англ. Н.А. Емельяновой; под ред. И.Г. Леруды. – М.: Колос, 1969. – С. 158–159.

REFERENCES

1. Terekhin E.S., Semya i semennoe razmnozhenie (Seed and seed propagation), Sankt-Peterburg: Mir i sem'ya-95, 1996, 377 p.
2. Baskin C.C., Baskin J.M., Plant regeneration from seeds: a global warming perspective: <http://www.ibot.cas.cz/personal/pysek/pdf/Gioria,%20Osborne,%20PysekSoil%20seed%20banks%20under%20warming%20climate.%20In%20Baskin%20&%20Baskin,%20Academic%20Press%202022.pdf> (data obrashcheniya: 16.01.2023).
3. Tkachenko K.G., Hortus Botanicus, 2020, T. 15, pp. 228–248. (In Russ.).
4. Carta A., Mattana E., Dickie J., Vandeloos F., Correlated evolution of seed mass and genome size varies among life forms in flowering plants, Seed Science Research, 2022, No. 32, pp. 46–52.
5. Baskin C.C., Baskin J.M., Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination, San Diego, 1998, 666 pp.: https://toc.library.ethz.ch/objects/pdf03/e05_978-0-12-416677-6_01.pdf
6. Stroh P.A., Walker K.J., Humphrey T.A., Pescott O.L., Burkmar R.J., Plant Atlas 2020: Mapping Changes in the Distribution of the British and Irish Flora. Princeton University Press, 2023, pp. 474: <https://doi.org/10.2307/j.ctv2x6f08m>. (Accessed: 1 Aug. 2023).
7. Koroleva E.V., Vestnik NGAU, 2023, No. 2 (67), pp. 60–74. (In Russ.).
8. Alekseychuk G.N., Laman N.A., Fiziologicheskoe kachestvo semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur i metody ego otsenki (Physiological quality of crop seeds and methods for its evaluation), Minsk: Pravo i ekonomika, 2005, 48 p..
9. Reestr selekcionnykh dostizhenij: <https://reestr.gossortrf.ru/sorts/7853728/> (data obrashcheniya: 10.06.2023). (In Russ.).
10. Savva V.G., Introdukciya odnoletnih dekorativnykh rastenij v Moldovii (Introduction of annual ornamental plants in Moldova), Kishinev: SHtinica, 1986, 275 p.
11. Koroleva E.V., Petrov A.F., CHudinova YU.V., Selekcija, semenovodstvo, tekhnologiya vozde-lyvaniya i pererabotka sel'skohozyajstvennykh kul'tur (Breeding, seed production, cultivation technology and processing of agricultural crops), Proceedings of the Conference Title, Krasnodar: EDVI, 2021, pp. 104–110. (In Russ.).
12. Sroki hraneniya semyan cvetov: <https://sysertnews.ru/news/3-1952.html> (data obrashcheniya: 10.06.2023 g.). (In Russ.).
13. The Germination Explanation: How Long Do Seeds Last?: <https://www.superseeds.com/blogs/know-your-roots/the-germination-explanation-how-long-do-seeds-last> (data obrashcheniya: 10.06.2023 g.).
14. Seed Saving for Beginners [Elektronnyj resurs]. URL: https://www.fedcoseeds.com/seeds/seed_saving.htm (data obrashcheniya: 10.06.2023 g.).

15. Seed Viability & How To Store Your Garden Seeds: <https://frostygarden.com/topics/seed-viability-store-garden-seed/> (data obrashcheniya: 10.06.2023 g.).
16. Goden do... Skol'ko mogut hranit'sya semena cvetov?: https://aif.ru/dacha/flowers/goden_do_skolko_mogut_hranitsya_semena_cvetov (data obrashcheniya: 10.06.2023 g.). (In Russ.).
17. Eryomenko L.L., Nauchnye voprosy semenovodstva, semenovedeniya i kontrol'no semennogo dela, Kiev, 1962, pp. 168. (In Russ.)
18. Levina R.E. Reproductivnaya biologiya semennyh rastenij (Reproductive biology of seed plants (a review of the problem)), Moscow: Nauka, 1981. 96 p. (In Russ.).
19. Vajnegij I.V., Botanicheskij zhurnal, 1974, T. 59, No. 6, pp. 826–831. (In Russ.).
20. Metodicheskie ukazaniya po semenovedeniyu introducentov (Guidelines for seed breeding of introducers), Moscow: Nauka, 1980, 64 p. (In Russ.).
21. Nikolaeva M.G., Lyanguzova I.V., Pozdova L.M., Biologiya semyan (Seed biology), Sankt-Peterburg: NII himii SPbGU, 1999, 231 p.
22. Semena cvetochnyh kul'tur. Metody opredeleniya vskhozhesti i energii prorastaniya semyan: <https://files.stroyinf.ru/Data/138/13865.pdf> (data obrashcheniya 16.01.2023). (In Russ.).
23. Mezhdunarodnye pravila opredeleniya kachestva semyan (International rules for determining the quality of seeds), Moscow: Kolos, 1969, pp. 158–159.

НАСЛЕДУЕМОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОДУКТИВНОСТИ В ГИБРИДНЫХ ПОПУЛЯЦИЯХ ЧЕЧЕВИЦЫ В УСЛОВИЯХ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Т.В. Маракаева, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Омск, Россия

E-mail: tv.marakaeva@omgau.org

Ключевые слова: чечевица, образец, гибридизация, гибридная популяция, коэффициент наследуемости, элементы продуктивности.

Реферат. Приведены результаты изучения коэффициентов наследуемости основных элементов продуктивности (число бобов с растения, число и масса семян с растения) в гибридных популяциях чечевицы второго поколения. Исследования проводились в период с 2020 по 2022 г. на опытном участке учебно-опытного хозяйства ФГБОУ ВО Омский ГА в южной лесостепи Омской области. Значение гидротермического коэффициента указывает на очень засушливые условия в 2020 г. (ГТК = 0,62) и 2021 г. (ГТК = 0,68), слабозасушливые – в 2022 г. (ГТК = 1,02). Почва опытного участка – лугово-черноземная среднесуглинистая (45 см) малогумусная (3,95% гумуса) среднесуглинистая (35% физической глины) с реакцией почвенного раствора, близкой к нейтральной (рН – 6,5). Предшественник – яровая мягкая пшеница. Изучению подлежали четыре коллекционных образца чечевицы с комплексом хозяйственно-ценных признаков разного эколого-географического происхождения: к-2888 (Молдова), к-2849 (Россия, Алтайский край), Рауза (Россия, Орловская область), Веховская (Россия, Саратовская область) и полученные в результате гибридизации четыре гибрида F_2 : к-2888 х Рауза, к-2888 х Веховская, к-2849 х Рауза, к-2849 х Веховская. Анализ полученных данных показал, что число бобов и число семян с одного растения характеризуются высокой наследуемостью ($H_2 = 54,8\%$ и $H_2 = 56,1\%$ соответственно), а масса семян с растения – низкой ($H_2 = 21,7\%$). Это значит, что фенотипическая изменчивость числа бобов и семян с одного растения обусловлена генотипическими показателями, а массы семян с растения – условиями среды в период вегетации. Перспективными в практической селекции чечевицы на повышение продуктивности в совокупности по трем основным показателям являются гибридные комбинации к-2888 х Рауза и к-2888 х Веховская.

INHERITANCE OF PRODUCTIVITY ELEMENTS IN HYBRID POPULATIONS OF LENTILS IN THE CONDITIONS OF OMSK REGION

T.V. Marakaeva, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia

E-mail: tv.marakaeva@omgau.org

Keywords: lentils, sample, hybridisation, hybrid population, heritability coefficient, productivity elements.

Abstract. The paper presents the results of studying the heritability coefficients of key productivity elements (number of pods per plant, number and mass of seeds per plant) in second-generation hybrid populations of lentils. The authors conducted the study from 2020 to 2022 on an experimental plot at the educational and experimental farm of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Omsk SAU in the southern forest-steppe of the Omsk Region. The hydrotechnical coefficient values indicated arid conditions in 2020 (HTC = 0.62) and 2021 (HTC = 0.68) and slightly dry conditions in 2022 (HTC = 1.02). The soil of the experimental plot is meadow-chnozem, moderately thick (45 cm), with low humus content (3.95% humus), and rather clayey (35% physical clay) with a soil solution reaction close to neutral (pH – 6.5). The predecessor crop was spring soft wheat. Four collection samples of lentils with a set of economically valuable traits of different eco-geographical origins were studied: k-2888 (Moldova), k-2849 (Russia, Altai Krai), Rauza (Russia, Oryol Region), Vekhovskaya (Russia, Saratov Region), and four hybrids F_2 obtained as a result of hybridisation: k-2888 x Rauza, k-2888 x Vekhovskaya, k-2849 x Rauza, k-2849 x Vekhovskaya. The analysis of the received data showed that the number of pods and seeds per plant is characterised by high heritability ($H_2 = 54.8\%$ and $H_2 = 56.1\%$, respectively). In comparison, the seed mass per plant has low heritability ($H_2 = 21.7\%$). It means that genetic indicators determine the phenotypic variability of the number of pods and seeds per plant. In contrast, environmental conditions influence the seed mass per plant during the growing season. Promising in practical lentil breeding for increasing productivity, considering three leading indicators, are the hybrid combinations k-2888 x Rauza and k-2888 x Vekhovskaya.

Дальнейшее развитие сельскохозяйственного производства, необходимый уровень продовольственной безопасности страны предъявляют более конкретные требования к планированию научных исследований по созданию новых сортов зернобобовых и крупяных культур, совершенствованию технологий их возделывания и семеноводства [1].

Чечевица – зернобобовая культура многостороннего использования, возделывание которой актуально и рентабельно в эпоху современного органического сельского хозяйства [2]. Выращивание зернобобовых культур является важной частью посевного и зернового комплекса Российской Федерации, поскольку при этом решается проблема обеспечения населения высококачественными продуктами питания, а животных – кормами [3]. К тому же представители зерновых бобовых способствуют сохранению плодородия почвы благодаря уникальной способности накапливать азот [4]. В связи с этим снижаются объемы применения минеральных азотных удобрений, и как результат – растет получение экологически чистой продукции [5].

Представители сельскохозяйственных организаций Омской области это понимают, и в последнее время больше заинтересованы во введении культуры в структуру посевных площадей [6]. Возросший интерес сдерживается тем, что районированные в условиях Омской области сорта чечевицы не отвечают производственным требованиям. Они менее конкурентоспособные, малоурожайные и низкотехнологичные [7].

Решением этой проблемы является создание новых адаптированных к биотическим и абиотическим факторам среды сортов [8]. Исходным материалом при этом является коллекция образцов чечевицы разнообразного эколого-географического происхождения [9]. Благодаря применению генетико-статистических методов оценки, а именно определению наследуемости ценных признаков в гибридных популяциях, уже на ранних этапах селекционного процесса возможно провести отбор уникальных генотипов [10]. Ориентируясь на значение коэффициента наследуемости, возможно определиться с видом отбора ценных генотипов. При высоком значении коэффициента наследуемости фенотипическое разнообразие обусловлено генотипической изменчивостью (генотип), при низком – модификационной (условия среды). Соответственно, в первом случае более эффективным будет массовый отбор, во втором – индивидуальный [11].

Цель исследований – определить коэффициенты наследуемости элементов продуктивности (число бобов, число и масса семян с растения) в гибридных популяциях чечевицы (F_2) для выявления спектра генетического разнообразия, ускорения отбора ценных генотипов и создания адаптированных к условиям региона сортов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследовательская работа выполнялась в учебно-опытном хозяйстве ФГБОУ ВО Омский ГАУ, расположенном в южной лесостепной климатической зоне Омской области (2020–2022 гг.). В последние годы в регионе отмечается тенденция к повышению среднесуточной температуры воздуха. Сумма активных температур (выше 10°C) за вегетационный период в 2020 г. составила 2045°C , в 2021 г. – 2238°C , в 2022 г. – 2488°C . Осадков в 2020 г. выпало 155,3 мм (70,6% от нормы), в 2021 г. – 166,0 мм (75,4% от нормы), в 2022 г. – 287,6 мм (130,72% от нормы). Гидротермический коэффициент, характеризующий обеспеченность растений влагой, указывает на очень засушливые условия в 2020 г. (ГТК = 0,62) и 2021 г. (ГТК = 0,68), слабозасушливые – в 2022 г. (ГТК = 1,02).

Почва опытного участка – лугово-черноземная среднесуглинистая (45 см) малогумусная (3,95%) среднесуглинистая (35% физической глины) с реакцией почвенного раствора, близкой к нейтральной (рН – 6,5).

Предшественник – яровая мягкая пшеница. Посев проведен в трехкратной повторности с площадью питания одного растения 10×45 см в оптимальные сроки (вторая декада мая) на глубину заделки семян 5 см. Количество семян в каждом повторении родительских форм – 25 шт., F_2 – 25 шт.

Объект исследований – коллекционные образцы чечевицы различного эколого-географического происхождения, отобранные по комплексу хозяйственно-ценных признаков: к-2888 (Молдова), к-2849 (Россия, Алтайский край), Рауза (Россия, Орловская область), Веховская (Россия, Саратовская область) и полученные в результате внутривидовой гибридизации четыре гибридных популяции второго поколения. Гибридный материал F_0 получен в 2018 г., F_1 – в 2019 г. и использовался для посева в последующие годы.

Фенологические наблюдения и учеты проведены согласно «Методическим указаниям по изучению коллекции зерновых бобовых культур» (1975) [12]. Статистическая обработка

полученных результатов велась по методике, изложенной в пособии Б.А. Доспехова [13]. Коэффициент наследуемости (H^2) рассчитан по формуле I. Mahmud и H. Kramer.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В период проведения исследований нами отмечены существенные различия по числу бобов с одного растения среди родительских форм и в гибридных популяциях. Из-за равномерного распределения осадков в течение всего

вегетационного периода наиболее благоприятные условия для формирования бобов сложились в 2021 г., так как именно в этом году отмечено максимальное значение показателя у родительских форм и гибридных комбинаций (табл. 1). В среднем значение показателя варьировало у родительских форм от 63,0 до 72,9 в гибридных комбинациях – от 60,5 до 75,1 г. Среди гибридных популяций наибольшее число бобов зафиксировано у к-2888 х Рауза (в среднем 75,1 г) и к-2888 х Веховская (в среднем 68,0 г).

Таблица 1

Число бобов с одного растения у родительских форм и гибридных комбинаций чечевицы
Number of pods per plant in parental forms and hybrid combinations of lentils

Образец/ гибридная комбинация	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее
<i>Родительские формы</i>				
к-2888	74,2	78,6	68,4	71,3
к-2849	71,2	82,7	64,8	72,9
Рауза	64,2	75,9	52,3	64,1
Веховская	62,8	77,2	49,1	63,0
Среднее	68,1	78,6	58,7	67,8
НСР ₀₅	2,24	1,14	0,96	1,64
<i>Гибридные комбинации F_2</i>				
к-2888 х Рауза	103,3	82,3	67,9	75,1
к-2888 х Веховская	106,5	76,3	59,6	68,0
к-2849 х Рауза	91,2	52,8	37,5	60,5
к-2849 х Веховская	98,6	64,2	48,2	70,3
Среднее	94,9	68,9	53,3	68,5
НСР ₀₅	2,36	3,01	4,78	5,72

В изученных гибридных популяциях чечевицы коэффициент наследуемости числа бобов с растения варьировал от 42,6 до 60,5%, а в среднем составил 54,8% (табл. 2). В зависимости от климатических условий отмечены небольшие изменения наследуемости в годы проведения исследований: от 53,1 (2022 г.) до 56,1% (2021 г.). Это обуславливает сильное влияние генотипических факторов на фенотипическую изменчивость признака и эффек-

тивность отбора ценных генотипов на данном этапе селекционного процесса независимо от условий произрастания. Практический интерес в этом плане представляют гибридные комбинации с наибольшим значением коэффициента наследуемости: к-2888 х Рауза ($H^2=59,5\%$) и к-2888 х Веховская ($H^2=57,3\%$), а соответственно, характеризующиеся значительным генетическим разнообразием.

Таблица 2

Коэффициент наследуемости числа бобов с растения
Heritability coefficient of the number of pods per plant

Гибридная комбинация	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее
к-2888 х Рауза	60,5	57,8	60,3	59,5
к-2888 х Веховская	52,7	56,9	62,3	57,3
к-2849 х Рауза	55,8	52,4	42,6	50,3
к-2849х Веховская	52,1	57,4	47,1	52,2
Среднее	55,3	56,1	53,1	54,8

Число семян с растения является одним из основных показателей элементов продуктивности. Родительские формы и гибридные популяции представлены двусемянными бобами. Подходящие условия периода образования бобов в 2021 г. благоприятно отразились на за-вязывании семян. Поэтому именно в этот год отмечено наибольшее количество семян с рас-

тения как у родительских форм (157,2 шт.), так и в гибридных комбинациях – (199,8 шт.) (табл. 3). Несмотря на различия климатических условий в течение трех лет изучения наибольшее число семян с растения показали к-2888 х Рауза (в среднем 169,0 шт.) и к-2888 х Веховская (в среднем 161,6 шт.).

Таблица 3

Число семян с растения у родительских форм и гибридных комбинаций чечевицы
Number of seeds per plant in parental forms and hybrid combinations of lentils

Образец/гибридная комбинация	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее
<i>Родительские формы</i>				
к-2888	148,4	157,2	136,8	147,5
к-2849	142,4	165,4	129,6	145,8
Рауза	128,4	151,8	104,6	128,3
Веховская	125,6	154,4	98,2	126,1
Среднее	136,2	157,2	117,3	136,9
НСР ₀₅	10,2	7,6	5,8	8,7
<i>Гибридные комбинации F₂</i>				
к-2888 х Рауза	206,6	164,6	135,8	169,0
к-2888 х Веховская	213	152,6	119,2	161,6
к-2849 х Рауза	182,4	105,6	75	121,0
к-2849х Веховская	197,2	128,4	96,4	140,7
Среднее	199,8	137,8	106,6	148,1
НСР ₀₅	13,4	9,7	7,4	8,8

Коэффициент наследуемости числа семян с растения изменялся от 36,8 до 64,9%, а в среднем составил 56,1% (табл. 4). В годы проведения исследований отмечено незначительное варьирование наследуемости – от 53,7 (2022 г.) до 60,1% (2021 г.). Следовательно, фенотипическая изменчивость признака обусловлена генотипическими показателями, а это говорит

о возможности отбора ценных генотипов по фенотипу уже в ранних поколениях гибридов. Практический селекционный интерес в этом плане представляют гибридные комбинации с наибольшим значением коэффициента наследуемости: к-2888 х Рауза ($H^2=60,4\%$) и к-2888 х Веховская ($H^2=59,5\%$).

Таблица 4

**Коэффициент наследуемости числа семян с растения
Heritability coefficient of the number of seeds per plant**

Гибридная комбинация	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее
к-2888 х Рауза	58,7	61,0	61,4	60,4
к-2888 х Веховская	61,1	64,9	52,6	59,5
к-2849 х Рауза	52,7	54,6	36,8	48,0
к-2849 х Веховская	45,2	59,8	63,9	56,3
Среднее	54,4	60,1	53,7	56,1

Еще одним важным показателем при селекции чечевицы на высокую продуктивность является масса семян с растения. Обильное количество осадков в период формирования семян (конец июля – август) отрицательно сказывается на его качестве. Семя часто бывает невыполненное, деформированное и поврежденное болезнями. В связи с этим происходит снижение урожайности. Засушливые условия второй половины вегетационного периода 2020 г. благоприятно сказались на созревании растений, а в итоге на урожайности в целом. Значение показателя изменялось 1,80 до 2,02

г у родительских форм и от 1,98 до 2,26 г – в гибридных комбинациях. В последующие годы погодные условия были хуже за счет обильного количества осадков. Крайне неблагоприятные условия сложились в 2022 г. Обильные осадки негативно повлияли на вегетацию чечевицы, что привело к снижению урожайности до 1,42 г (в среднем) у родительских форм и 1,21 г (в среднем) – у гибридов F_2 . Наиболее продуктивными в среднем за 2020–2022 гг. оказались гибридные комбинации к-2888 х Веховская (1,74 г) и к-2888 х Рауза (1,62 г) (табл. 5).

Таблица 5

**Масса семян с растения у родительских форм и гибридных комбинаций чечевицы
Seed mass per plant in parental forms and hybrid combinations of lentils**

Образец/гибридная комбинация	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее
1	2	3	4	5
<i>Родительские формы</i>				
к-2888	2,02	1,88	1,42	1,77
к-2849	1,92	1,85	1,58	1,75
Рауза	1,86	1,72	1,26	1,61
Веховская	1,80	1,84	1,40	1,68
Среднее	1,90	1,81	1,42	1,70
НСР ₀₅	0,8	0,6	0,6	0,7
<i>Гибридные комбинации F_2</i>				
к-2888 х Рауза	2,26	1,34	1,26	1,62
1	2	3	4	5
к-2888 х Веховская	2,17	1,67	1,38	1,74
к-2849 х Рауза	2,01	1,25	1,12	1,46
к-2849 х Веховская	1,98	1,20	1,09	1,42
Среднее	2,11	1,37	1,21	1,56
НСР ₀₅	0,5	0,4	0,8	0,7

По массе семян с растения доля фенотипического доминирования в гибридных комбинациях варьировала от 17,5 до 27,1, а в зависимости от года исследований – от 18,9 (2022 г.) до 24,9% (2021 г.) (табл. 6). Величина коэффициента наследуемости (в среднем $H^2 =$

21,7%) показывает, что изменчивость изученного признака в основном зависит от условий среды. Поэтому по данному признаку целесообразно проводить индивидуальный отбор в благоприятных условиях произрастания и в более поздних гибридных поколениях.

Таблица 6

Коэффициент наследуемости массы семян с растения
Heritability coefficient of seed mass per plant

Гибридная комбинация	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее
к-2888 х Рауза	23,5	25,3	19,5	22,8
к-2888 х Веховская	18,7	24,1	17,5	20,1
к-2849 х Рауза	21,9	27,1	18,9	22,6
к-2849 х Веховская	20,8	23,2	19,8	21,3
Среднее	21,2	24,9	18,9	21,7

Перспективными в этом плане являются гибридные комбинации, имеющие наибольшую наследуемость массы семян с растения: к-2888 х Рауза ($H^2 = 22,8\%$) и к-2849 х Рауза ($H^2 = 22,6\%$).

ВЫВОДЫ

1. Число бобов и число семян с одного растения характеризуются высокой наследуемостью ($H^2 = 54,8\%$ и $H^2 = 56,1\%$ соответственно), а масса семян с растения – низкой ($H^2 = 21,7\%$).

2. Фенотипическая изменчивость числа бобов и семян с одного растения обусловлена генотипическими показателями, что указывает

на возможность отбора ценных генотипов по данным признакам уже в ранних поколениях гибридов независимо от условий произрастания.

3. Изменчивость массы семян с растения в основном зависит от условий среды. Поэтому по данному признаку целесообразно проводить индивидуальный отбор в благоприятных условиях произрастания и в более поздних гибридных поколениях.

4. Наиболее перспективными в практической селекции чечевицы на повышение продуктивности в совокупности по трем основным показателям следует считать гибридные комбинации к-2888 х Рауза и к-2888 х Веховская.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Развитие производства зернобобовых и крупяных культур в России на основе использования селекционных достижений / В.И. Зотиков [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2020. – № 4 (36). – С. 5–17.
2. Роль генофонда чечевицы (*Lens culinaris* Medik.) из коллекции зернобобовых культур в решении задач селекции в Азербайджане / К.Б. Шихалиева [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2018. – № 2 (26). – С. 36–43.
3. Генетические ресурсы зернобобовых Средиземноморья в коллекции ВИР: разнообразие и использование (обзор) / М.А. Вишнякова [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51, № 1. – С. 31–45.
4. Дворянинов С.А., Сорокина И.Ю., Пимонов К.И. Исходный материал для селекции чечевицы в условиях Ростовской области РФ // Ресурсосбережение и адаптивность в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур и переработки продукции растениеводства: материалы междунар. науч.-практ. конф., пос. Персиановский, 7 февр. 2019 г – Персиановский, 2019. – С. 185–196.

5. *Сорокина И.Ю., Кумачева В.Д.* Изучение коллекционных образцов чечевицы для создания новых сортов в условиях юга России // *Международный научно-исследовательский журнал.* – 2022. – № 1-1 (115). – С. 140–143.
6. *Иконников А.В.* Семенная продуктивность перспективных коллекционных образцов чечевицы // *Роль молодых ученых в инновационном развитии сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов.* – 2019. – С. 67–69.
7. *Маракаева Т.В., Горбачева Т.В.* Перспектива развития производства чечевицы в Омской области // *Второй Международный форум «Зернобобовые культуры – развивающееся направление в России», Омск, 17–20 июля 2018 г. / Омск: Полиграф. центр КАН, 2018.* – С. 123–126.
8. *Поминов А.В.* Мировая коллекция ВИР – исходный материал для селекции чечевицы в условиях нижнего Поволжья РФ // *Вавиловские чтения – 2019: Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 132-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова.* – 2019. – С. 100–103.
9. *Сравнительное изучение биологических и хозяйственно-ценных признаков зернобобовых культур в условиях предуральской степи Республики Башкортостан / Ф.А. Давлетов [и др.] // Известия Уфимского научного центра РАН.* – 2018. – № 3–6. – С. 31–33.
10. *Зайцев С.А., Рожков П.Ю., Миронов И.В.* Испытание чечевицы отечественной селекции в различных условиях выращивания // *Вавиловские чтения – 2022: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 135-й годовщине со дня рождения акад. Н.И. Вавилова, Саратов, 22–25 нояб. 2022 г. – Саратов: Амирит, 2022.* – С. 98–103.
11. *Маракаева Т.В.* Взаимосвязь урожайности и элементов продуктивности чечевицы // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет).* – 2019. – № 3 (52). – С. 40–47.
12. *Методические указания по изучению коллекции зерновых бобовых культур / Н.И. Корсаков [и др.].* – Л.: ВИР, 1975. – 59 с.
13. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов. – М., 1985. – 351 с.

REFERENCES

1. Zotikov V.I. [i dr.], *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2020, No. 4 (36), pp. 5–17. (In Russ.)
2. SHihalieva K.B. [i dr.], *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2018, No. 2 (26), pp. 36–43. (In Russ.)
3. Vishnyakova M.A. [i dr.], *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*, 2016, T. 51, No. 1, pp. 31–45. (In Russ.)
4. Dvoryaninov S.A., Sorokina I.YU., Pimonov K.I., *Resursosberezhenie i adaptivnost' v tekhnologiyah vozdeleyvaniya sel'skohozyajstvennykh kul'tur i pererabotki produktsii rastenievodstva* (Resource-saving and adaptability in the technologies of cultivation of agricultural crops and processing of crop products), *Proceedings of the Conference Title, Persianovskij*, 2019, pp. 185–196. (In Russ.)
5. Sorokina I.YU., Kumacheva V.D., *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*, 2022, No. 1–1 (115), pp. 140–143. (In Russ.)
6. Ikonnikov A.V., *Rol' molodyh uchenykh v innovacionnom razvitii sel'skogo hozyajstva* (The role of young scientists in the innovative development of agriculture), *Proceedings of the Conference Title*, 2019, pp. 67–69. (In Russ.)
7. Marakaeva T.V., Gorbacheva T.V., *Vtoroj Mezhdunarodnyj forum "Zernobobovye kul'tury, razvivayushcheesya napravlenie v Rossii"*, Omsk, 17–20 iyulya 2018 g., Omsk: Poligraficheskij centr KAN, 2018, pp. 123–126. (In Russ.)
8. Pominov A.V., *Vavilovskie chteniya – 2019* (Vavilov Readings – 2019). *Proceedings of the Conference Title*, 2019, pp. 100–103. (In Russ.)
9. Davletov F.A. [i dr.], *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo centra RAN*, 2018, No. 3–6, pp. 31–33. (In Russ.)

10. Zajcev S.A., Rozhkov P.YU., Mironov I.V., Vavilovskie chteniya – 2022 (Vavilov Readings – 2022), Proceedings of the Conference Title, Saratov: Amirit, 2022, pp. 98–103. (In Russ.)
11. Marakaeva T.V., Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet), 2019, No. 3 (52), pp. 40–47. (In Russ.)
12. Korsakov N.I. [i dr.], Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu kolleksii zernovyh bobovyh kul'tur (Guidelines for the study of the collection of grain legumes), Leningrad: VIR, 1975, 59 p.
13. Dospekhov B.A., Metodika polevogo opyta s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov (Field experiment methodology with the basics of statistical processing of results), Moscow, 1985, 351 p.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАННИХ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ И СРЕДНЕСПЕЛОГО СОРТА ЗЛАТКА И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ СЕМЕНОВОДСТВА В ЛЕСОСТЕПИ ПРИОБЬЯ

¹А.И. Мурзин, агроном

²П.Н. Потапов, аспирант

²Р.Р. Галеев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

³Н.А. Потапов, кандидат сельскохозяйственных наук

²С.С. Потапова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

¹ЗАО СХП «Мичуринец», д. Издревая, Новосибирской обл., Россия

²Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

³ООО АТФ «Агрос», Новосибирск, Россия

E-mail: pnp@agrosnsk.ru

Ключевые слова: сорт, генофонд, картофель, рост и развитие, семеноводство, уровень урожайности, качество продукции.

Реферат. Приводятся данные по сравнительной оценке ранних сортов картофеля на двух основных типах почв лесостепи Приобья. Опыты были проведены в 2020–2022 гг. в Новосибирском районе Новосибирской области на выщелоченном черноземе УОХ «Практик» (подразделение Новосибирского ГАУ) и на серой лесной среднесуглинистой почве ЗАО СХП «Мичуринец». Целью исследования являлось изучение эффективности использования современного генофонда ранних сортов картофеля и изыскание путей совершенствования их семеноводства на безвирусной основе. В исследовании получены высокие показатели урожайности сортов картофеля в условиях выщелоченного чернозема (УОХ «Практик») и серой лесной тяжелосуглинистой почвы (ЗАО СХП «Мичуринец»), расположенных в северной лесостепи Новосибирского Приобья. Выщелоченный чернозем опытных участков имел содержание гумуса 6,76%, валового азота – 0,24, фосфора – 0,21 и калия – 1,25%. Концентрация легкогидролизуемого азота была 12,3, подвижного фосфора – 25,2 и обменного калия – 12 мг/100 г почвы, pH 5,89. Серая лесная почва содержала гумуса 3,8% при pH 5,53, нитратного азота – около 10 мг/кг, подвижного фосфора – 12,8 мг/100 г и обменного калия – 9,2 мг/100 г почвы. В исследованиях установлено, что на серой лесной почве в условиях открытого грунта продуктивность сортов раннего картофеля равна: Ред Скарлетт – около 32 т/га, Розара – 30 т/га, а среднеспелого сорта Златка – 28 т/га. Показано, что у этих сортов преобладала в урожае семенная фракция. Отмечен коэффициент вариации фракционного состава на уровне $V=12,6–28\%$ в зависимости от сорта. Наибольший выход безвирусных клубней был у сортов Терра и Сантэ. На выщелоченном черноземе при сортоизучении ранних сортов минимальная продуктивность составила 1024 г/куст у сорта Розара, 987 – у сорта Ривьера и 986 г/куст – у сорта Коломба, что значительно выше стандарта (сорт Любава). Статистически определено, что урожайность раннего картофеля зависела от генотипа на 37%, условий года – на 27%.

COMPARATIVE EVALUATION OF EARLY POTATO VARIETIES AND THE MID-SEASON VARIETY ZLATKA AND WAYS TO IMPROVE THEIR SEED PRODUCTION EFFICIENCY IN THE FOREST-STEPPE OF PRIOBYE

¹A.I. Murzin, Agronomist

²P.N. Potapov, PhD Student

²R.R. Galeev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

³N.A. Potapov, PhD in Agricultural Sciences

²S.S. Potapova, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

¹ CJSC Agricultural Enterprise "Michurinets," Izdrevaya Village, Novosibirsk Region, Russia

²Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

³LLC Agrotechnology Firm "Agros," Novosibirsk, Russia

E-mail: pnp@agrosnsk.ru

Keywords: variety, gene pool, potatoes, growth and development, seed production, yield level, product quality.

Abstract. The paper provides data on the comparative assessment of early potato varieties on two main soil types in the forest-steppe of Priobye. The experiments were conducted from 2020 to 2022 in the Novosibirsk District of the Novosibirsk Region on leached chernozem soil at the "Praktik" Experimental Farm (a division of Novosibirsk SAU) and on grey forest heavy loamy soil at CJSC agricultural enterprise "Michurinets." The research aimed to study the efficiency of using the modern gene pool of early potato varieties and to explore ways to improve their virus-free seed production. The study achieved high potato variety yields in conditions of leached chernozem soil ("Praktik") and grey forest heavy loamy soil (CJSC agricultural enterprise "Michurinets") located in the northern forest-steppe of the Novosibirsk Priobye. Leached chernozem on experimental plots had a humus content of 6.76%, gross nitrogen of 0.24%, phosphorus of 0.21%, and potassium 1.25%. The concentration of quickly hydrolysable nitrogen was 12.3, mobile phosphorus was 25.2, and exchangeable potassium was 12 mg/100 g of soil, with a pH of 5.89. Grey forest soil contained 3.8% humus with a pH of 5.53; Nitrate nitrogen of about 10 mg/kg; mobile phosphorus of 12.8 mg/100 g; Exchangeable potassium of 9.2 mg/100 g of soil. The research showed that on grey forest soil in open ground conditions, the productivity of early potato varieties was as follows: Red Scarlett - about 32 t/ha, Rozara - 30 t/ha, and the mid-season variety Zlatka - 28 t/ha. It was demonstrated that the seed fraction in the yield dominated these varieties. The authors noted a coefficient of variation of the fractional composition at the level of $V=12.6-28\%$, depending on the array. The highest yield of virus-free tubers was observed in the Terra and Santé varieties. On leached chernozem soil during the study of early types, the minimum productivity was 1024 g/plant for the Rozara variety, 987 g/plant for the Riviera variety, and 986 g/plant for the Kolomba variety, which is significantly higher than the standard (Lyubava variety). It was statistically determined that the yield of early potatoes depended on genotype by 37% and on the year's conditions by 27%.

Картофелеводство является традиционной отраслью сельского хозяйства России, прочно удерживающий вторые позиции после зерновых культур [1–3]. Российская Федерация занимает одно из первых мест по площади этой культуры, а также валовому сбору, однако имеет невысокие показатели продуктивности [4, 5]. В Сибири урожайность картофеля составляет 21–23 т/га, что в 2 раза ниже в сравнении с Нидерландами и другими ведущими производителями этой культуры в мире [6, 7].

Одной из основных причин низкоэффективного отечественного картофелеводства является отставание нашей страны от мирового агротехнологического прогресса [8, 9]. Вместе с тем картофелеводство в нашей стране перешло на адаптивно-ландшафтную систему земледелия в условиях современной рыночной экономики [10, 11]. Картофель находится в списке немногочисленных культур, производство которых за период экономических реформ значительно возросло: посевные площади увеличились на 19%, валовой сбор – на 76, а урожайность – на 62% [12].

Современный прогресс в области отечественного картофелеводства возможен за счет внедрения новых перспективных высокоурожайных сортов, их семеноводства на безвирусной основе, совершенствования адаптивных технологий производства картофеля на основе биологизации, энергоресурсосбережения в условиях адаптивно-ландшафтной экономически оправданной системы земледелия [13–15].

Актуальными и практически важными аспектами картофелеводства являются расширение ассортимента высокоурожайных ранних сортов с учетом спроса потребителей и специализации хозяйства. Особое внимание уделяется сортам продовольственно-столового потребления с желтой или кремовой мякотью и высокими вкусовыми качествами. Представляют интерес и сорта для промышленной переработки с повышенным содержанием крахмала и определенными технологическими качествами, а также кормового использования с высоким содержанием сухого вещества и крахмала [16–18].

Наряду с этим важной проблемой сибирского картофелеводства является нерациональное использование средств химизации в сочетании с многократными обработками посадок, приводящими к снижению урожайности и качества клубней и усилению эрозии почв [19]. Такая продукция в значительной степени подвержена различным заболеваниям и плохо хранится. Создается искусственная агроэкологическая ниша культивируемого картофеля, требующая больших ежегодных вложений на поддержание оптимальных агроэкологических условий высокой продуктивности раннего картофеля.

Целью наших исследований 2020–2022 гг. явилось изучение эффективности использования современного генофонда ранних сортов картофеля и изыскание путей совершенствования их семеноводства на безвирусной

основе на разных почвах северной лесостепи Новосибирского Приобья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2020–2022 гг. на выщелоченном черноземе опытных полей УОХ «Практик» и на серой лесной тяжелосуглинистой почве ЗАО СХП «Мичуринец» Новосибирского района. На выщелоченном тяжелосуглинистом черноземе опытного участка содержание гумуса составило 6,76%, валового азота – 0,24, фосфора – 0,21 и калия – 1,25%; легкогидролизуемого азота было 12,3, подвижного фосфора – 25,2 и обменного калия – 12,4 мг/100 г почвы при pH 5,89. На серой лесной тяжелосуглинистой почве ЗАО СХП «Мичуринец» на бескарбонатном суглинке гумуса содержалось 5,53%, нитратного азота было 9,9 мг/кг, подвижного фосфора – 12,8 мг/100 г, и обменного калия – 9,2 мг/100 г.

По данным АМС «Огурцово», для обеих зон исследования весна 2021 г. была ранняя с переходом температуры воздуха через +10°C 5–7 мая, 2020 и 2022 гг. ознаменовались затяжной весной с перепадами температуры воздуха и почвы. Ранняя осень в 2021 г. наступила при сумме активных температур 1938°C, что на уровне нормы. В 2021 г. сумма осадков в июне и июле в 1,32 раза превышала среднестатистические показатели. В 2020 г. также были благоприятные условия по влагообеспечению в период интенсивного клубнеобразования (середина июля–август).

В ходе исследований осуществлялись динамические наблюдения по методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [20]. Площадь листьев изучалась по Н.Ф. Коняеву [21]. Биометрические измерения и оценку фракционного состава клубней в динамике проводили по методическим указаниям ВНИИКХ [22]. Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена по Б.А. Доспехову с использованием пакета прикладных программ SNEDECOR [23].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В период вегетации в целях интегрированной защиты посадок картофеля проводили обработки следующими препаратами: Зенкор Ультра – 0,8 л/га, Титус СТС – 0,05 кг/га, Престиж, КС – 1 л/га, Дитан М-95 – 1,2 кг/га, Консекто, КС – 1,75 л/га, Инфинито, КС – 1,2

л/га, а также против болезней Ридомил Голд МЦ, ВДГ – 2,5 кг/га, инсектицидами: Конфидор Экстра, ВДГ – 0,125 кг/га, Децис Эксперт, ВДГ – 0,05 л/га и Каратэ Зеон, МКС – 0,1 л/га.

Для ускорения созревания клубней применяли десикант Реглон Супер, ВР – 2 л/га.

На серой лесной почве на площади 2,78 га высаживали клубни категории супер-суперэлиты, оздоровленные методом апикальной меристемы, в том числе раннеспелый сорт Ред Скарлетт 0,11 га, Розара – 1,54 и среднеспелый сорт западно-сибирской селекции Златка – 1,06 га. Безвирусный картофель высаживали на изолированных участках открытого грунта в начале мая. Дата массовых всходов различалась у всех сортов. В более ранние сроки отмечены всходы у сорта Розара – 1–4 июня и Ред Скарлетт – 4–8 июня, сибирский среднеспелый сорт Златка всходил 9–14 июня. Продолжительность от посадки до массовых всходов варьировала от 28 дней у сорта Розара до 34 у среднеспелого сорта Златка.

Период от посадки картофеля до десикации равен у сорта Ред Скарлетт 76, Розара – 79 и Златка – 85 суток. Механическую десикацию у ранних сортов проводили в конце июля, у среднеспелого – в начале августа.

Для вызревания клубней химическая десикация Реглоном Супер – 2 л/га осуществлялась в начале августа. При этом продолжительность от механической десикации до уборки составила у ранних сортов 14 суток, у среднеспелого сорта Златка – 35 суток.

Уборка раннеспелых сортов проводилась в первой декаде и у среднеспелого сорта Златка – в середине сентября.

В табл. 1 приведены данные по продуктивности картофеля категории суперэлиты, оздоровленного методом апикальной меристемы, на серой лесной почве ЗАО СХП «Мичуринец».

Отмечено, что на изолированных участках открытого грунта сорта картофеля различались как по диаметру мини-клубней, так и по их количеству. Валовой сбор картофеля категории суперэлиты составил у сорта Ред Скарлетт 3,48 т, Розара – 40,56 т, в том числе семенной фракции 29,32 т, у сорта Златка – 34,47 т, в том числе семенной фракции 24,81 т. Наибольшая максимальная урожайность отмечена у сорта Ред Скарлетт – 31,7 т/га (при 24,5 т/га семенной фракции 35–60 мм). У раннего сорта Розара урожайность равна 29,8 т/га, семенной фракции 21,9 т/га. У среднеспелого сорта новосибирской селекции Златка урожайность достигла 27,7 т/га, в том числе 20,8 т/га семенной фракции диаметром 35–60 мм.

Таблица 1

**Продуктивность оздоровленных клубней категории суперэлиты в открытом грунте
ЗАО СХП «Мичуринец»
Productivity of revitalised tubers of the super-elite category in open ground
at CJSC Agricultural Enterprise "Michurinets"**

Сорт	Группа спелости	Валовой сбор, т			Урожайность, т/га		
		общий	в т.ч. по фракциям, мм		общая	в т.ч. по фракциям, мм	
			35–60	свыше 60		35–60	свыше 60
Ред Скарлетт	Ранний	3,48	2,21	1,27	31,7	24,5	7,2
Розара	Ранний	40,56	29,32	11,24	29,8	21,9	7,9
Златка	Средне- спелый	34,47	24,81	9,66	27,7	20,8	6,9
НСР ₀₅					0,63	0,16	0,31

По данным протокола испытаний аккредитованной лаборатории Россельхозцентра по Новосибирской области, вирусы в семенных клубнях всех сортов картофеля не найдены.

Нами в 2020–2022 гг. проведена оценка фракционного состава безвирусных клубней картофеля ранней группы спелости в условиях серой лесной тяжелосуглинистой почвы лесостепи Новосибирского Приобья (табл. 2).

Таблица 2

**Фракционный состав клубней безвирусного раннего картофеля
(среднее за 2020–2022 гг.)
Fractional composition of virus-free early potato tubers (average for 2020–2022)**

Сорт	Фракции, мм										Всего	
	до 25		25–35		35–45		45–50		Свыше 55		шт.	кг
	шт.	кг	шт.	кг	шт.	кг	шт.	кг	шт.	кг		
Юна (стандарт)	36	0,73	69	2,15	17	0,98	19	1,46	20	3,68	161	18,7
Легенда	107	1,25	246	3,82	96	4,87	36	2,85	3	0,26	488	13,5
Любава	67	0,58	69	2,96	192	11,0	9,3	10,8	45	8,68	466	34,0
Сантэ	226	2,17	152	4,12	106	6,15	28	3,12	2,4	0,36	536	15,9
Коломба	33	0,23	56	1,87	99	5,72	140	16,7	49	9,8	377	10,5
Пушкинец	43	0,46	84	1,02	80	7,97	58	7,23	36	5,88	301	22,6
Мишка	89	0,85	109	2,73	153	9,13	48	7,36	46	7,28	445	27,4
Терра	156	1,84	152	3,71	189	9,19	67	6,89	9	1,23	573	22,9
Розара	82	0,67	101	2,06	94	5,68	7,2	6,94	14	2,89	363	18,9
Гала	260	2,38	160	3,60	112	5,67	23	2,14	18	3,21	571	17,2
НСР ₀₅	5,8	0,16	10,2	0,25	12,6	0,10	14,3	0,11	2,76	0,27	21,6	4,21

Показано, что на серой лесной почве изученные ранние сорта различались по фракционному составу: мелкой фракции с диаметром клубней ниже 25 мм было больше у сортов Сантэ – 226 шт., Гала – 260 и Терра – 56 при 36 шт. у стандарта Юна. Фракция 35–45 мм (средняя) преобладала у сортов Любава – 192 шт., Мишка – 153 и Гала – 112 шт. при 17 у

стандарта Юна. Крупной семенной фракции безвирусного картофеля больше насчитывалось у сорта Коломба – 49 шт., Мишка – 46 при 20 шт. в варианте со стандартом.

Суммарный выход клубней был максимальным у сортов Терра – 573, Гала – 571 шт., Сантэ – 536 при 161 шт. у стандарта.

Безвирусные клубни изучаемых ранних сортов обладали высокими семенными достоинствами.

На выщелоченном черноземе лесостепи Новосибирского Приобья проводилось сортоизучение безвирусного материала перспективных сортов раннего картофеля (табл. 3).

По раннему урожаю через 50 суток после всходов доминируют сорта Коломба – 405, Агата – 390, Ривьера – 386 и Арго – 380 г/куст против 360 г у стандарта Любава.

Стандарту уступали следующие сорта: Атибо, Арго, Атис, Глория, Ред Скарлетт, Розара и Юна. Через 90 суток после всходов не было равных по урожайности на 1 куст сортам Розара – 1024 г, Коломба – 986 и Ривьера – 987 г/куст при 878 г/куст у стандарта сорта Любава.

Статистическая обработка урожайных данных методом дисперсионного анализа (12 x 3) свидетельствует, что доля влияния генотипа на продуктивность сортов раннего картофеля составляет 36,5%, условий года – 27,2% при их взаимодействии на уровне 17%.

Таблица 3

**Динамика формирования урожая сортов картофеля
(среднее за 2020–2022 гг.)
Dynamics of potato variety yield formation (average for 2020–2022)**

Сорт	Урожай в динамике после всходов, г/куст		
	50 суток	70 суток	90 суток
Любава (стандарт)	360	517	878
Агата	390	609	817
Арго	380	510	795
Атис	301	540	868
Атибо	286	605	820
Глория	310	616	765
Калужский	360	596	810
Коломба	405	680	986
Ред Скарлетт	240	426	956
Ривьера	386	638	987
Розара	268	465	1024
Юна	289	586	892

Примечание. Результаты дисперсионного анализа двухфакторного опыта: НСР₀₅ частных различий – 12,92, НСР₀₅ для А – 12,17, НСР₀₅ для В – 16,52; главные эффекты и взаимодействия: фактор А (сорт) – 36,5, В (условия года) – 27,2, взаимодействие (АВ) – 16,8%.

Note. The results of the analysis of variance of a two-factor experiment: NSR₀₅ partial differences - 12.92, NSR₀₅ for A - 12.17, NSR₀₅ for B - 16.52; main effects and interactions: factor A (variety) - 36.5, B (year conditions) - 27.2, interaction (AB) - 16.8%.

Анализ биохимического состава безвирусного раннего картофеля свидетельствует о роли генотипа в формировании показателей качества. Ранние сорта картофеля имели высокое содержание крахмала, сахаров, витамина С, а концентрация нитратов была в 3–4 раза ниже ПДК для этой культуры (250 мг/кг).

По содержанию сухого вещества не было равных сортам Коломба и Розара – по 24,8%, Ред Скарлетт и Калужский – по 24,7% против 24,3% у стандарта Любава. Ниже стандарта

сухого вещества содержалось у сортов Арго и Глория.

Больше всего крахмала содержалось в клубнях сортов Ред Скарлетт – 16,5%, Агата – 16,1, Розара – 16,0 и Коломба – 15,8% при 15,6% у сорта-стандарта. Ниже стандарта количество крахмала было у сортов Арго, Атис, Атибо, Глория, Калужский, Ривьера и Юна. По сахарам выделяются сорта Арго, Атис и Розара. Максимальное содержание витамина С отмечено у сорта Ред Скарлетт – 17,8 мг/100 г при 16,8 у стандарта. Нитратов было значительно

меньше ПДК, в большем количестве они содержались в клубнях сорта Арго (83 мг/кг), в

меньшем – у сорта Коломба – 54 и Ривьера – 59 мг/кг (табл. 4).

Таблица 4

Качество клубней безвирусного картофеля
(среднее за 2020–2022 гг.)
Quality of virus-free potato tubers (average for 2020–2022)

Сорт	Содержание, % на сырое вещество			Витамин С, мг/100 г	Нитраты, мг/кг
	сухое вещество	крахмал	сахара		
Любава (стандарт)	24,3	15,6	1,25	16,8	68
Агата	24,4	16,1	1,18	17,5	76
Арго	24,1	14,3	1,28	15,8	83
Атис	24,6	12,6	1,34	14,9	80
Атибо	24,3	12,8	0,95	15,2	62
Глория	24,2	13,5	0,84	16,0	72
Калужский	24,7	14,8	1,04	16,3	80
Коломба	24,8	15,8	1,13	17,5	54
Ред Скарлетт	24,7	16,5	1,20	17,8	63
Ривьера	24,5	14,8	1,19	17,3	59
Розара	24,8	16,0	1,28	18,0	68
Юна	24,6	14,9	1,10	16,8	72
НСР ₀₅	0,12	0,23	0,08	0,19	9,76

ВЫВОДЫ

1. В исследованиях 2020–2022 гг. на разных почвах лесостепи Новосибирского Приобья – выщелоченном тяжелосуглинистом черноземе и серой тяжелосуглинистой почве выявлены особенности роста и развития новых перспективных ранних сортов картофеля, оздоровленного методом апикальной меристемы. На серой лесной почве в открытом грунте урожайность семенных безвирусных клубней достигла у сорта Ред Скарлетт 31,7 т/га, Розара – 29,8 (ранние) и у сорта Златка (новосибирской селекции, среднеспелый) – 27,7 т/га. На 78–82% преобладала в урожае семенная фракция 35–60 мм.

2. Выявлено, что сорта картофеля различались в зависимости от генотипа по фракционному составу при его варьировании 12,6–27,8%. Максимальный выход клубней отмечен у сортов Терра и Сантэ – в 2,5–3,2 раза выше стандарта Юна.

3. На выщелоченном черноземе при раннем сроке учета – 50 суток после всходов – наибольшая продуктивность – 405 г/куст отмечена у сорта Коломба, а также сортов Агата

– 390, Ривьера – 386 и Арго – 380 г. В период окончательного учета – 90 суток максимальная продуктивность составила 1024 г/куст у сорта Розара, 987 – у сорта Ривьера, 986 – Коломба при 878 г/куст у сорта-стандарта Любава.

4. Дисперсионным анализом определено, что урожайность раннего картофеля зависит от генотипа на 37%, условий года – на 27, их взаимодействия – на 17%.

5. Изученные перспективные ранние сорта имели высокие показатели качества продукции: содержание сухого вещества достигает 24,8% у сортов Коломба и Розара, крахмала – 16,5% (Ред Скарлетт), 16,1 (Агата) и 16,0% (Ривьера). Витамина С больше всего определено в клубнях сорта Розара – 18,0 мг/100 г при 16,8 мг/100 г у стандарта Любава.

6. Концентрация нитратов в клубнях раннего картофеля колебалась от 54 мг/кг у сорта Коломба до 83 мг/кг у сорта Арго, что 3–4 раза ниже ПДК для этой культуры.

Научная работа выполнялась в рамках научно-технологической проблемы ФНТП «Селекция и семеноводство картофеля».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Производство семенного картофеля на оздоровленной основе.* – Новосибирск: Ритм, 2017. – 72 с.
2. *Микрклональное размножение в картофелеводстве: рекомендации.* – Пенза: Изд-во НИИСХ, 2009. – 39 с.
3. *Галеев Р.Р., Шульга М.С., Ковалев Е.А.* Эффективность оздоровления сортов картофеля в лесостепи Приобья // Модернизация аграрного образования: научн. тр. VI Междунар. научно-практ. конф. 16–17 дек. 2020 г. – Томск, 2020. – С. 281–285.
4. *Пути повышения эффективности семеноводства на безвирусной основе.* Брянск, 2016. – 108 с.
5. *Галеев Р.Р.* Семеноводство картофеля на безвирусной основе. – Новосибирск: Ритм, 2018. – 93 с.
6. *Галеев Р.Р.* Адаптивные технологии производства картофеля в Западной Сибири. – Новосибирск: Агро-Сибирь, 2012. – 72 с.
7. *Особенности воспроизводства оздоровленной супер-суперэлиты: метод. рекомендации.* – Красково: ВНИИКСХ, 2016. – 81 с.
8. *Галеев Р.Р.* Адаптивная энергосберегающая технология ускоренного семеноводства безвирусного картофеля. – Новосибирск: Агро-Сибирь, 2017. – 79 с.
9. *Овэс Е.В.* Биотехнологические основы совершенствования процесса получения и размножения исходного материала в оригинальном семеноводстве картофеля: дис. ... д-ра с.-х. наук. – М., 2021. – 356 с.
10. *Анисимов Б.В.* Фитопатогенные вирусы и их контроль в семеноводстве картофеля: практическое руководство. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. – 80 с.
11. *Семеноводство картофеля: современные технологии, нормативное регулирование, проверка качества* / Б.В. Анисимов, А.А. Симаков, С.В. Жевора [и др.]; под общ. ред. Б.В. Анисимова. – Чебоксары, 2017. – 36 с.
12. *ГОСТ – 33996-2016* Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества. – М., 2016.
13. *Галеев Р.Р.* Интенсификация производства семенного картофеля в Западной Сибири. – Новосибирск: Агро-Сибирь, 2018. – 112 с.
14. *Особенности выращивания оздоровленного семенного картофеля сорта Златка на серой лесной почве лесостепи Новосибирского Приобья* / П.Н. Потапов, А.И. Мурзин, Р.Р. Галеев, Н.А. Потапов, С.С. Потапова // Сб. VII Всерос. (нац.) науч. конф. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2022. – С. 72–75.
15. *Innovative approach to advancing technology of fast-paced seed production of potato varieties rejuvenated by method of apical meristem in forest-steppe zone of Western Siberia* / P.N. Potapov, A.I. Murzin, R.R. Galeev, Potapov, S.S. Potapova // *Approvadvanced*. – Vol. 56, N 3. – P. 126–132.
16. *Non-virus seed production.* – Ontario, 2016. – 360 p.
17. *Apical meristem technology.* – London: Science, 2015. – 268 p.
18. *Выращивание оздоровленного картофеля.* – Кемерово: Изд-во КеМНИИСХ, 2016. – 52 с.
19. *Карганов М.И.* Безвирусный картофель. – Рязань: Ритм, 2017. – 138 с.
20. *Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур.* – М.: Сельхозиздат, 1985. – 286 с.
21. *Коняев Н.Ф.* Научные основы высокой продуктивности овощных культур. – Новосибирск, 1978. – 112 с.
22. *Методические указания по проведению исследований в картофелеводстве.* – М: ВНИИСХ, 2006. – 39 с.
23. *Сорокин О.Д.* Прикладная статистика. – Новосибирск: Сиб. отд.-ние РАСХН, 2008. – 112 с.

REFERENCES

1. *Proizvodstvo semennogo kartofelja na ozdorovlennoj osnove* (Production of seed potatoes on a healthy basis), Novosibirsk: Rhythm, 2017, 72 p.

2. Mikroklonal'noe razmnnozhenie v kartofelevodstve (Microclonal reproduction in potato growing), Penza: publishing house of NIISH, 2009, 39 p.
3. Galeev R.R., Shulga M.S., Kovalev E.A., Modernizacija agrarnogo obrazovanija (Modernization of agricultural education), Scientific tr. VI International scientific and practical conference 16-17.12.2020 Tomsk, 2020, pp. 281–285. (In Russ.)
4. Puti povyshenija jeffektivnosti semenovodstva na bezvirusnoj osnove (Ways to increase the efficiency of seed production on a virus-free basis), Bryansk, 2016, 108 p.
5. Galeev R.R., Semenovodstvo kartofelja na bezvirusnoj osnove (Potato seed production on a virus-free basis), Novosibirsk: Rhythm, 2018, 93 p.
6. Galeev R.R., Adaptivnye tehnologii proizvodstva kartofelja v Zapadnoj Sibiri (Adaptive potato production technologies in Western Siberia), Novosibirsk: Agro-Siberia, 2012, 72 p.
7. Osobennosti vosproizvodstva ozdorovlennoj super-superjelity (Features of reproduction of a healthy super-super-elite), Kraskovo: VNIKH, 2016, 81 p.
8. Galeev R.R., Adaptivnaja jenergosberegajushhaja tehnologija uskorenного semenovodstva bezvirusnogo kartofelja (Adaptive energy-saving technology of accelerated seed production of virus-free potatoes), Novosibirsk: Agro-Siberia, 2017, 79 p.
9. Oves E.V., Biotehnologicheskie osnovy sovershenstvovanija processa poluchenija i razmnnozhenija ishodnogo materiala v original'nom semenovodstve kartofelja (Biotechnological foundations for improving the process of obtaining and propagating the source material in the original potato seed production), Extended abstract of Doctors thesis, Moscow, 2021, 356 p.
10. Anisimov B.V., Fitopatogennye virusy i ih kontrol' v semenovodstve kartofelja (Phytopathogenic viruses and their control in potato seed production), Moscow: FGNU "Rosinformaagrotech", 2004, 80 p.
11. Anisimov B.V., Simakov A.A., Zhevora S.V. [i dr.], Semenovodstvo kartofelja: sovremennye tehnologii, normativnoe regulirovanie, proverka kachestva (Potato seed production: modern technologies, regulatory regulation, quality control, Cheboksary, 2017. – 36 p.
12. GOST – 33996-2016 Seed potatoes. Technical conditions and methods for determining quality, Moscow, 2016. (In Russ.)
13. Galeev R.R., Intensifikacija proizvodstva semennogo kartofelja v Zapadnoj Sibiri (Intensification of seed potato production in Western Siberia), Novosibirsk: Agro-Siberia, 2018, 112 p.
14. Potapov P.N., Murzin A.I., Galeev R.R., Potapov N.A., Potapova S.S., Osobennosti vyrashhivaniya ozdorovlennogo semennogo kartofelja sorta Zlatka na seroj lesnoj pochve lesostepi Novosibirskogo Priob'ja (Features of growing healthy seed potatoes of the Zlatka variety on the gray forest soil of the forest-steppe of the Novosibirsk Ob region), Sb. VII All-Russian (National) Scientific, Novosibirsk, 2022, pp. 72–75. (In Russ.)
15. Potapov P.N., Murzin A.I., Galeev R.R., Potapov N.A., Potapova S.S., Innovative approach to advancing technology of fast-paced seed production of potato varieties rejuvenated by method of apical meristem in forest-steppe zone of Western Siberia, Approbated, Vol. 56, No. 3, pp. 126–132.
16. Non-virus seed production, Ontario, 2016, 360 p.
17. Apical meristem technology, London, Science, 2015, 268 p.
18. Vyrashhivanie ozdorovlennogo kartofelja (Growing healthy potatoes). Kemerovo, publishing house of KEMNIISKH, 2016, 52 p.
19. Karganov M.I., Bezvirusnyj kartofel' (Virus-free potatoes), Ryazan: Rhythm, 2017, 138 p.
20. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skhozajstvennyh kul'tur (Methodology of State variety testing of agricultural crops), Moscow: Agricultural publishing house, 1985, 286 p.
21. Konjaev N.F., Nauchnye osnovy vysokoj produktivnosti ovoshhnyh kul'tur (Scientific foundations of high productivity of vegetable crops), Novosibirsk, 1978, 112 p.
22. Metodicheskie ukazaniya po provedeniju issledovanij v kartofelevodstve (Methodological guidelines for conducting research in potato growing), Moscow: VNIISKH, 2006, 39 p.
23. Sorokin O.D., Prikladnaja statistika (Applied statistics), Novosibirsk: Siberian Branch of RASKHN, 2008, 112 p.

АГРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ КОЛЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ РЖИ

Е.С. Парфенова, кандидат сельскохозяйственных наук

М.Г. Шамова, кандидат сельскохозяйственных наук

М.Н. Жукова, младший научный сотрудник

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока

им. Н.В. Рудницкого, Киров, Россия

E-mail: elka1745@yandex.ru

Ключевые слова: озимая рожь, селекция, источники признаков, зимостойкость, урожайность, структура урожая.

Реферат. Приведены результаты изучения коллекционных образцов озимой ржи по урожайности и хозяйственно-биологическим признакам в условиях Кировской области. Полевые исследования проведены в 2021–2022 гг. на опытном поле Федерального аграрного научного центра Северо-Востока (г. Киров). Цель работы состояла в выявлении источников ценных признаков для селекции озимой ржи в условиях Кировской области. Погодные условия способствовали проявлению адаптивного потенциала образцов. Условия периода перезимовки были на уровне климатической нормы. Засуха в мае 2021 г. (гидротермический коэффициент 0,8) была причиной ухудшения показателей колоса. Более благоприятные условия увлажнения весенне-летней вегетации отмечены в 2022 г. (гидротермический коэффициент мая–июля 1,2–2,5). В результате изучения выявлены наиболее приспособленные образцы К-10474 Edelhofer New, К-10394 Otello, Снежана 2 242/15, К-10028 Низкостебельная с показателями густоты продуктивного стеблестоя более 200 шт/м² и урожайностью 168–180 г/м². Выявлены источники высокой озерненности (52–56 шт.) и продуктивности колоса (1,75–1,86 г) – Снежана 2 242/15, К-11821 Донская, К-11823 Ника 3; количества колосков в колосе (33 шт.) – К-11515 Паллада, К-11649 УН 14; массы 1000 зерен – К-11693 Warko (33,6 г). Для селекции на устойчивость к полеганию перспективными являются образцы К-11674 Таловская 2, К-11635 Polko, К-11649 УН 14, донор доминантной моногенной короткостебельности К-10028 Низкостебельная, доноры рецессивной полигенной короткостебельности К-10149 Carstens, К-10229 Danae. С целью увеличения генетического разнообразия селекционного материала озимой ржи в условиях Кировской области выделены образцы К-10394 Otello (Швеция), К-10474 Edelhofer New (Австрия), К-11410 SCW 1662 (Германия), К-11693 Warko (Польша), Снежана 2 242/15 (Россия), К-11821 Донская (Россия), К-11823 Ника 3 (Россия), К-10028 Низкостебельная (Болгария), К-11515 Паллада (Украина), предлагаемые для скрещивания с местными сортами.

AGROBIOLOGICAL STUDY OF THE COLLECTION OF WINTER RYE

E.S. Parfenova, PhD in Agricultural Sciences

M.G. Shamova, PhD in Agricultural Sciences

M.N. Zhukova, Junior Researcher

Federal Agricultural Research Center of the North-East

named after N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

E-mail: elka1745@yandex.ru

Keywords: winter rye, breeding, trait sources, winter hardiness, yield, crop structure.

Abstract. The paper presents the results of studying collection samples of winter rye for yield and agrobiological traits in the Kirov Region. The authors conducted the field research in 2021–2022 at the experimental field of the Federal Agricultural Research Center of the Northeast (Kirov City). The study aimed to identify sources of valuable traits for breeding winter rye in the Kirov Region. Weather conditions contributed to the manifestation of the adaptive potential of the samples. Overwintering conditions were at the climatic norm level. Drought in May 2021 (hydrothermal coefficient 0.8) led to a deterioration of spike indicators. More favourable moisture conditions during the spring-summer vegetation were observed in 2022 (hydrothermal coefficient for May–July 1.2–2.5). As a result of the study, the most adapted samples were identified: K-10474 Edelhofer New, K-10394 Otello, Snow 2 242/15, K-10028 Low-stemmed, with productive stem density of more than 200 pcs/m² and yields of

168–180 g/m². Sources of high earliness (52–56 pcs.) and spike productivity (1.75–1.86 g) were identified, such as Snow 2 242/15, K-11821 Donskaya, K-11823 Nika 3; spikelet quantity per spike (33 pcs.) – K-11515 Pallada, K-11649 UH 14; 1000 grain weight – K-11693 Warko (33.6 g). For selection for lodging resistance, promising samples are K-11674 Talovskaya 2, K-11635 Polko, K-11649 UH 14, donors of dominant monogenic short stem K-10028 Low-stemmed, donors of recessive polygenic short stem K-10149 Carstens, K-10229 Danae. To increase the genetic diversity of breeding material of winter rye in the Kirov Region, samples K-10394 Otello (Sweden), K-10474 Edelhofer New (Austria), K-11410 SCW 1662 (Germany), K-11693 Warko (Poland), Snow 2 242/15 (Russia), K-11821 Donskaya (Russia), K-11823 Nika 3 (Russia), K-10028 Low-stemmed (Bulgaria), K-11515 Pallada (Ukraine) are proposed for crossing with local varieties.

Высокие адаптационные возможности делают озимую рожь (*Secale cereale* L. var. *vulgare* Koern.) важной культурой в решении вопросов продовольственной безопасности России в современных условиях изменяющегося климата. Направления селекции определяются требованиями сельского хозяйства и почвенно-климатическими особенностями региона возделывания. Основными задачами селекции озимой ржи являются повышение урожайности, устойчивости к полеганию и неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам, улучшение качества зерна [1–3]. Несмотря на определенные успехи, в селекции ржи остаются нерешенными проблемы дальнейшего увеличения генетического потенциала признаков продуктивности, устойчивости к полеганию, зимостойкости [4–6]. При этом необходимо сохранять высокий уровень адаптивности создаваемых сортов. Высокая стрессоустойчивость озимой ржи и значительный диапазон ее адаптации [7–9] должны способствовать реализации потенциальной продуктивности этой культуры [10, 4].

Расширение генетического разнообразия исходного материала повышает адаптивные возможности будущего сорта [11]. Коллекция озимой ржи Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) имеет большой потенциал для использования в селекции на повышение продуктивности, зимостойкости, устойчивости к полеганию, биотическим и абиотическим стрессам, качества зерна [12]. Изучение исходного материала из коллекции ВИР в годы с различными метеоусловиями дает представление о норме реакции и потенциале хозяйственно-биологических признаков образцов. Практический интерес представляют генотипы, сочетающие высокую урожайность с комплексом хозяйственно-ценных признаков (зимостойкость, устойчивость к полеганию, высокий уровень элементов структуры урожая). Генотипы с высокими значениями отдельных признаков могут быть использованы в селекционном процессе в качестве их источников.

Коллекция ВИР является важным ресурсом исходного материала для селекции озимой ржи в ФАНЦ Северо-Востока. В условиях Кировской области основным фактором, лимитирующим урожайность озимой ржи, является зимостойкость, которая в большой степени определяется способностью сортов к отрастанию после поражения снежной плесенью (*Microdochium nivale* (Fr.) Samuels et Hallett), ежегодно отмечаемой на посевах озимых культур [13]. Поэтому исходный материал должен быть высокозимостойким (не ниже уровня стандарта) и адаптивным. Прогресс в селекции ржи зависит от достаточного генетического разнообразия исходного материала, поэтому вопрос поиска новых исходных форм для селекции урожайных и зимостойких сортов озимой ржи, адаптированных к местным условиям, остается актуальным.

Цель исследований – выявить источники селекционно-ценных признаков для создания высокоурожайных зимостойких сортов озимой ржи в условиях Кировской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые исследования проведены в 2021–2022 гг. в коллекционном питомнике на опытном поле ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров). Изучено 26 коллекционных образцов, полученных из Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (г. Санкт-Петербург).

Опытный участок расположен в центральной агроклиматической зоне Кировской области с достаточной для выращивания озимой ржи обеспеченностью влагой и теплом (сумма осадков в среднем за год составляет 500–680 мм, сумма среднесуточных температур выше 10°C – 1700–1900°C). Рельеф опытного участка равнинный, почва дерново-подзолистая, тяжелосуглинистая, pH_{col} 4,0, содержание гумуса составляет 1,37 %, фосфора – 190 мг/100 г почвы, калия – 221 мг/100 г почвы. Агротехника опытов – общепринятая для

Кировской области. Весной после схода снега проведена подкормка аммиачной селитрой (N_{30}). Питомник заложен в двухкратной повторности, площадь делянки 1 м^2 . Посев проведен вручную, норма высева 120 зерен на 1 м^2 .

Проведена оценка образцов по зимостойкости, урожайности, устойчивости к полеганию, густоте продуктивного стеблестоя на 1 м^2 , признакам колоса согласно «Методическим указаниям по изучению мировой коллекции ржи» (1973), «Международному классификатору СЭВ рода *Secale L.*» (1984). Образцы сравнивали со стандартом Фаленская 4. Статистическая

обработка данных проведена методом однофакторного дисперсионного анализа; связи между признаками устанавливали по парному коэффициенту корреляции Пирсона (r), фенотипическую изменчивость – по коэффициенту вариации (C_v , %). Кластерный анализ проведен с применением пакета статистических программ STADIA (версия 8.0) по методу Уорда с использованием нормированной евклидовой метрики.

В годы проведения исследований наблюдали неустойчивую погоду с контрастным гидротермическим режимом (табл. 1).

Таблица 1

Метеорологические условия в период осенней и весенне-летней вегетации
(данные метеостанции г. Киров)
Meteorological conditions during the autumn and spring-summer vegetation
periods (data from Kirov city weather station)

Показатель	Сентябрь		Апрель		Май		Июнь		Июль	
	2020	2021	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Среднемесячная температура воздуха, °C	10,6	7,3	5,2	4,0	15,0	8,5	19,9	16,1	19,2	20,0
± к норме	0,9	-2,9	1,0	-0,1	3,1	-3,4	3,5	-0,3	0,3	1,1
Сумма осадков, мм	49	79	48	63	58	53	63	118	92	130
% от нормы	74	140	124	161	107	99	78	145	113	159
ГТК	1,2	6,2	-	-	0,8	1,2	1,1	2,5	1,6	2,1

Источник данных: <http://www.pogodaiklimat.ru/weather.php?id=27199>

Озимая рожь в начальный период роста и развития особенно нуждается в оптимальном гидротермическом режиме [14]. Известно, что на полевую всхожесть озимых культур негативно влияет как переувлажнение, так и пересыхание верхнего слоя почвы [15]. В нашем опыте в сентябре 2020 и 2021 гг. сложились неблагоприятные условия для всходов и осеннего кущения. Гидротермический коэффициент (ГТК) в этот период составил 1,2 и 6,2, что характеризует условия как недостаточно и избыточно увлажненные соответственно. В таких условиях прорастание семян затянулось и всходы были крайне недружными, что привело к снижению полевой всхожести и отрицательно повлияло на густоту стеблестоя.

Условия зимовки (с ноября по середину апреля) в 2021 и 2022 гг. в целом соответствовали климатической норме. Высокий снеговой покров и нестабильный температурный режим зимнего периода ежегодно провоцировали гибель растений от выпревания.

Погодные условия в период возобновления вегетации (25–30 апреля) были удовлетворительными. Весеннее кущение и стеблевание, когда у ржи наступает критический период водопотребления, проходили при дефиците увлажнения, особенно в 2021 г. В мае 2022 г. из-за недостатка тепла развитие растений замедлилось, что привело к увеличению средней продолжительности периода «посев – колошение» по сравнению с 2021 г. на 9 дней.

Колошение и цветение в июне проходили в неблагоприятных условиях, особенно в 2021 г., когда дефицит влаги и высокая температура воздуха стали причиной увеличения периода колошения, сокращения фазы цветения и повышения череззерницы. Фаза налива и созревания зерна в июле проходила в условиях избыточного увлажнения. В целом погодные условия способствовали проявлению адаптивного потенциала образцов. Более благоприятные погодные условия весенне-летней вегетации отмечены в 2022 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В среднем за два года изучения все опытные образцы уступали стандарту по урожайности и густоте продуктивного стеблестоя (табл. 2).

Таблица 2

Агробιοлогическая характеристика коллекционных образцов (среднее за 2021–2022 гг.)
Agrobiological characteristics of collection samples (average for 2021–2022)

Номер по каталогу ВИР	Наименование	Происхождение	Урожайность, г/м ²	Густота продуктивного стеблестоя, шт/м ²	Зимостойкость, баллов	Высота растений, см	Устойчивость к полеганию, баллов
1	2	3	4	5	6	7	8
11449	Фаленская 4 (стандарт)	Россия	413	403	7	111	7
-	Снежана 2 242/15		171	207	6	113	6
11674	Таловская 2		64	94	6	84	8
-	Енрушсиб 77-8/14		43	86	4	98	6
11821	Донская		109	130	7	104	6
11823	Ника 3		96	114	7	101	7
10028	Низкостебельная	Болгария	168	255	7	99	7
11636	Kisvardai Legelo	Венгрия	34	75	5	115	5
11515	Паллада	Украина	121	128	6	108	5
11635	Polko	ЮАР	78	94	4	85	8
11692	Кауро	Латвия	40	61	7	91	7
11559	Нару 4	Япония	70	142	6	127	6
11529	Эльви	Эстония	139	193	7	108	5
11597	Folud	США	4	87	5	113	7
10394	Otello	Швеция	176	229	6	124	5
10474	Edelhofer New	Австрия	180	235	7	140	4
10149	Carstens	Германия	42	101	7	100	5
10229	Danae		23	54	5	126	5
10490	Carokurz		48	90	3	110	5
11410	SCW 1662		180	155	5	111	7
11446	Borellus		83	145	5	118	5
11650	Weidmannsdank		37	56	5	104	7
11649	UH 14	Чехия	64	120	7	99	8

1	2	3	4	5	6	7	8
11648	Wibro	Польша	66	120	7	124	5
11522	Pastewne Zielone		15	52	3	129	6
11693	Warko		143	146	4	112	7
11623	SMH 183		47	78	6	96	6
Среднее по опыту			98	135	6	109	6
НСР ₀₅			111	131	ns	29	ns
Cv, %			85	58	23	12	18

Примечание. Здесь и далее: ns – различия статистически незначимы.

Note. Here and below: ns – differences are statistically insignificant.

Густота продуктивного стеблестоя является одним из ключевых элементов в структуре урожая озимой ржи. Известно, что высокая густота продуктивного стеблестоя к уборке сохраняется у тех популяций ржи, растения в которых обладают одинаково высокой взаимной конкурентной способностью [14]. В нашем опыте у коллекционных образцов наблюдали снижение густоты стояния растений и, следовательно, густоты продуктивного стеблестоя, по причине неблагоприятных погодных условий в период всходов и осеннего кушения в сентябре. Снижение густоты продуктивного стеблестоя негативно повлияло на урожайность ($r = 0,93$, значимо на 1%-м уровне). Показатели густоты продуктивного стеблестоя и урожайности сильно варьировали. В данном случае сложно объективно оценивать потенциал продуктивности образцов, возможна лишь сравнительная оценка. Выделены образцы К-10028 Низкостебельная, К-10474 Edelhofer New, К-10394 Otello, Снежана 2 242/15 с показателем более 200 продуктивных стеблей на 1 м². Наибольшей урожайностью (121–180 г/м²) характеризовались образцы К-10474 Edelhofer New, К-11410 SCW 1662, К-10394 Otello, Снежана 2 242/15, К-10028 Низкостебельная, К-11693 Warko, К-11529 Эльви, К-11515 Паллада.

Густота продуктивного стеблестоя коллекционных образцов формировалась, в том числе, за счет зимостойкости ($r = 0,47$, значимо на 5 %-ном уровне). Зимостойкость образцов в среднем по опыту составила 6 баллов, что соответствует градации выше среднего, т. е. большинство образцов показали хорошую устойчивость к неблагоприятным факторам зимнего периода в условиях Кировской области. Высокая зимостойкость (7 баллов) от-

мечена у образцов К-11821 Донская, К-11823 Ника 3, К-10028 Низкостебельная, К-11692 Кауро, К-11529 Эльви, К-10474 Edelhofer New, К-10149 Carstens, К-11649 УН 14, К-11648 Wibro, однако отличия от стандарта статистически незначимы.

Важным для селекции морфологическим признаком озимой ржи является высота растений, которая в определенной степени влияет на устойчивость к полеганию [16]. В нашем опыте установлена статистически значимая корреляция между высотой растений и устойчивостью к полеганию ($r = -0,64$). По высоте растений большинство образцов (13 шт.) отнесены к полукороткостебельным. Образцы-доноры короткостебельности К-10149 Carstens и К-10229 Danae, К-10028 Низкостебельная отнесены соответственно к короткостебельной и полукороткостебельной группам. Данные доноры имеют особую ценность для селекции ржи на снижение высоты растений и повышение устойчивости к полеганию по причине известного генетического контроля длины стебля (К-10149 Carstens, К-10229 Danae – полигенный рецессивный контроль, К-10028 Низкостебельная – моногенный доминантный контроль) [17]. Низкие показатели высоты растений обусловили достаточно хорошую устойчивость к полеганию в питомнике. Устойчивость к полеганию в среднем по опыту составила 6 баллов, что соответствует градации выше средней. В качестве источников устойчивости к полеганию по абсолютному значению признака (8 баллов) выделены образцы К-11674 Таловская 2, К-11635 Polko, К-11649 УН 14.

Признаки колоса и масса 1000 зерен являются важными элементами в структуре урожая озимой ржи. Отмечено, что величина признаков колоса (длина, количество колосков и зерен, масса зерна) у коллекционных образцов

была выше в условиях лучшей влагообеспеченности периода стеблевания–колошения в 2022 г., масса 1000 зерен была выше при недостатке осадков в период колошения–цветения в 2021

г. В среднем за период изучения образцы достоверно различались по величине элементов структуры урожая, за исключением массы 1000 зерен (табл. 3).

Таблица 3

Признаки колоса коллекционных образцов (среднее за 2021–2022 гг.)
Traits of collection samples spikes (average for 2021–2022)

Номер по каталогу ВИР	Наименование	Длина колоса, см	Плотность колоса, шт/10 см	Количество, шт.		Масса зерна, г	
				колосков	зерен в колосе	с колоса	1000 зерен
11449	Фаленская 4 (стандарт)	11,9	29	35	59	1,85	25,6
-	Снежана 2 242/15	12,1	29	34	56	1,86	28,9
11674	Таловская 2	9,8	30	30	49	1,48	29,5
-	Енрушсиб 77-8/14	9,7	30	29	36	1,07	33,5
11821	Донская	11,1	30	33	52	1,75	32,1
11823	Ника 3	11,2	29	33	52	1,83	31,2
10028	Низкостебельная	10,8	30	32	48	1,46	28,1
11636	Kisvardai Legelo	9,5	28	26	35	1,03	28,6
11515	Паллада	11,1	30	33	54	1,60	29,3
11635	Polko	9,3	30	28	38	0,99	26,3
11692	Кауро	7,0	32	23	35	1,12	29,6
11559	Нару 4	8,4	30	26	40	1,19	28,6
11529	Эльви	8,4	29	25	38	1,30	30,5
11597	Folud	10,9	24	26	11	0,10	22,2
10394	Otello	9,9	30	30	45	1,08	25,5
10474	Edelhofer New	9,7	27	27	37	0,81	25,3
10149	Carstens	9,2	29	26	36	0,81	29,3
10229	Danae	9,1	28	26	37	0,87	25,8
10490	Carokurz	9,1	28	26	33	0,82	23,0
11410	SCW 1662	8,7	30	26	43	1,59	32,8
11446	Borellus	8,0	29	23	35	1,04	27,0
11649	UH 14	10,6	31	33	44	1,39	29,4
11650	Weidmannsdank	10,8	28	30	43	1,13	27,2
11648	Wibro	10,2	26	27	44	1,37	30,1
11522	Pastewne Zielone	9,9	27	27	27	0,65	23,8
11693	Warko	8,4	29	25	43	1,45	33,6
11623	SMH 183	7,9	32	25	37	0,94	28,1
Среднее по опыту		9,7	29	28	41	1,20	28,3
НСР ₀₅		1,8	3,5	4,9	14,9	0,60	ns
Cv, %		13	6	13	24	34	11

Образцы характеризовались невысокой фенотипической изменчивостью показателей количества колосков в колосе, длины колоса и

его плотности. Длина и плотность колоса могут быть морфологическими маркерами при отборе на продуктивность [14]. Следует учитывать,

что отбор в плюс-направлении по длине колоса может привести к снижению его плотности, так как существует отрицательная корреляция между длиной и плотностью колоса (в нашем опыте коэффициент корреляции был значимым и составил $-0,39$). Для селекции предпочтительнее колосья средней и вышесредней плотности ($35\text{--}38$ колосков на 10 см), в которых складываются оптимальные условия для налива крупного зерна. Лучшими по длине колоса были образцы Снежана 2 242/15, К-11821 Донская, К-11823 Ника 3, К-11515 Паллада ($11,1\text{--}12,1\text{ см}$). Отмечены образцы К-11623 SMH 183, К-11692 Кауро, К-11649 УН 14, обладающие сравнительно более высокой плотностью колоса ($31\text{--}32$ колоска на 10 см колосового стержня). На плотность колоса также влияет количество колосков в колосе. Увеличение количества колосков в колосе способствует повышению потенциальной продуктивности колоса, а значит, и урожайности ржи, поэтому необходим поиск форм с большим количеством колосков. В нашем опыте количество колосков значимо влияло на урожайность ($r = 0,48$). Невысокая фенотипическая изменчивость признаков длины колоса и количества колосков, средняя степень их наследуемости, предполагающая положительный эффект при отборе по фенотипу [14], позволяет использовать эти признаки для оценки образцов на потенциальную продуктивность. Поскольку длина колоса отрицательно связана с его плотностью, в роли маркерного признака повышенной потенциальной продуктивности, по нашему мнению, следует использовать признак «количество колосков в колосе». В качестве источников увеличенного количества колосков в колосе выделены образцы Снежана 2 242/15, К-11821 Донская, К-11823 Ника 3, К-11515 Паллада, К-11649 УН 14, которые имеют повышенную потенциальную продуктивность колоса.

Количество зерен в колосе и масса зерна с колоса в опыте были высокоизменчивыми признаками ($C_v=24\text{--}34\%$). В среднем за два года количество зерен в колосе составило 41 шт., что соответствует градации ниже среднего. Низкая озерненность была связана с недостатком увлажнения в период стеблевания, колошения и цветения, когда формируется количество колосков, цветков и зерен в колосе. При этом количество зерен в колосе оказало

наибольшее статистически значимое влияние на урожайность образцов среди других признаков колоса в структуре урожая ($r = 0,64$). В качестве источников признака высокого количества зерен в колосе предлагаются образцы Снежана 2 242/15, К-11821 Донская, К-11823 Ника 3, К-11515 Паллада.

Масса зерна с колоса является многокомпонентным признаком. В нашем опыте продуктивность колоса была достоверно связана с длиной колоса ($r = 0,38$), количеством колосков ($r = 0,62$) и зерен в колосе ($r = 0,94$). В среднем по опыту масса зерна с колоса была низкой ($1,20\text{ г}$), что указывает на невысокие значения компонентов и недостаточно благоприятные внешние условия для развития признака. Этот признак в наших исследованиях был достоверно связан с густотой продуктивного стеблестоя ($r = 0,44$), зимостойкостью ($r = 0,47$) и урожайностью ($r = 0,59$), т. е. растения в агроценозах образцов с лучшей густотой продуктивного стеблестоя (в том числе ввиду более высокой зимостойкости) в связи с одинаково высокой конкурентной способностью формировали более продуктивный колос, что повышало урожайность. В качестве источников повышенной массы зерна с колоса выделены образцы Снежана 2 242/15, К-11821 Донская, К-11823 Ника 3, которые в достаточной степени реализовали свойственный им потенциал продуктивности колоса.

Масса 1000 зерен, характеризующая крупность зерна, в среднем по опыту соответствовала градации ниже средней ($28,0\text{--}31,9\text{ г}$). Выявленные значимые положительные корреляции массы 1000 зерен с массой зерна с колоса ($r = 0,60$) и количеством зерен в колосе ($r = 0,42$) свидетельствуют о нормальном протекании процесса налива зерна и об отсутствии конкуренции между растениями у большинства образцов (ввиду низкой густоты продуктивного стеблестоя). В качестве источника признака крупности зерна выделен образец К-11693 Warko с максимальным значением массы 1000 зерен ($33,6\text{ г}$).

Кластерный анализ данных по 11 хозяйственно-биологическим признакам позволил выделить 7 кластеров, в пределах которых образцы обладали наибольшим сходством. Кластеры значительно различались по средней величине признаков (табл. 4).

Характеристика кластеров коллекционных образцов
Characteristics of collection sample clusters

Признак	Номер кластера						
	1	2	3	4	5	6	7
	Фален- ская 4 (стан- дарт)	Otello, Edelhofer New	SCW 1662, Warko	Снежана 2 242/15, Донская, Ника 3, Низ- косте- бельная, Паллада	Kisvardai Legelo, Haru 4, Эльви, Carstens, Danae, Borellus, Wibro, Kaupo, SMH 183	Талов- ская 2, Ен- рушсиб 77-8/14, Polko, UH-14, Weid- manns- dank	Carokurz, Pastewne Zielone, Folud
Урожайность, г/м ²	413	178	162	133	60	57	22
Густота продуктивного стеблестоя, шт/м ²	403	232	150	167	107	90	76
Зимостойкость, балл	7	6	5	7	6	5	4
Высота растения, см	111	132	111	105	112	94	117
Устойчивость к полеганию, баллов	7	4	7	6	5	7	6
Длина колоса, см	12	9,8	8,5	11,2	8,6	10	10
Плотность колоса, шт/10 см	29	29	30	30	29	30	27
Количество колосков, шт.	35	28	25	33	25	30	26
Количество зерен в колосе, шт.	59	41	43	52	37	42	24
Масса зерна с колоса, г	2	0,94	1,52	1,70	1,07	1,21	0,52
Масса 1000 зерен, г	26	25,4	33,2	29,9	28,6	29,2	23,0

Стандарт выделен в отдельный кластер благодаря высоким хозяйственно-биологическим показателям. Второй кластер объединил шведский и австрийский образцы с относительно более высокой урожайностью и густотой продуктивного стеблестоя, зимостойкостью выше средней, но сравнительно мелкозерные, с низкой продуктивностью колоса, слабоустойчивые к полеганию. Третий кластер включал польские образцы с высокой устойчивостью к полеганию, наиболее крупнозерные, с коротким и плотным продуктивным колосом, однако менее зимостойкие. Четвертый кластер содержал отечественные образцы с высокой зимостойкостью, короткостебельные, достаточно устойчивые к полеганию, с длинным продуктивным колосом и сравнительно крупным зерном. Наиболее многочисленный пятый кластер состоял из 9 образцов, отличающихся

невысокой продуктивностью колоса. Шестой кластер содержал высокоустойчивые к полеганию, относительно крупнозерные, но сравнительно менее зимостойкие и продуктивные образцы из России, ЮАР, Германии. Седьмой кластер (образцы Германии, Польши, США) характеризовался наименьшей урожайностью и густотой продуктивного стеблестоя, низкой зимостойкостью, мелкозерностью. Таким образом, ни один из кластеров не обладал высокими значениями по всем признакам. Однако для расширения генетического разнообразия исходного материала в селекции озимой ржи в условиях Кировской области представляют интерес образцы, входящие в четвертый, второй и третий кластеры. Для повышения зимостойкости данные образцы необходимо скрещивать с высокозимостойкими районированными сортами (в том числе сортом Фаленская 4).

ВЫВОДЫ

1. Более приспособленными к условиям Кировской области являются образцы К-10474 Edelhofer New, К-10394 Otello, Снежана 2 242/15, К-10028 Низкостебельная, которые характеризуются сравнительно более высокой густотой продуктивного стеблестоя (более 200 шт/1 м²) и урожайностью (168–180 г/м²).

2. В качестве источников продуктивности выявлены образцы с повышенным и устойчивым уровнем признаков количества колосков (33–34 шт.) и зерен (52–56 шт.) в колосе, массы зерна с колоса (1,75–1,86 г) – Снежана 2 242/15, К-11821 Донская, К-11823 Ника 3; количества колосков и зерен в колосе – К-11515 Паллада (33 и 54 шт.); массы 1000 зерен – К-11693 Warko (33,6 г); количества колосков в колосе – К-11649 УН 14 (33 шт.). Выявленные образцы могут использоваться для получения селекционного материала с более высокими значениями элементов структуры продуктивности в селекции на увеличение урожайности озимой ржи в условиях Кировской области.

3. Доноры доминантной моногенной короткостебельности К-10028 Низкостебельная и рецессивной полигенной короткостебельности К-10149 Carstens, К-10229 Danae характеризуются достаточно высокой зимостойкостью в условиях Кировской области (5–7 баллов), что дает возможность использовать их в селекции короткостебельных сортов, потенциально более устойчивых к полеганию. Выделены образцы с высокой устойчивостью к полеганию (8 баллов) – К-11674 Таловская 2, К-11635 Polko, К-11649 УН 14, предлагаемые в качестве источников признака.

4. С помощью кластерного анализа выделены образцы К-10394 Otello, К-10474 Edelhofer New, К-11410 SCW 1662, К-11693 Warko, Снежана 2 242/15, К-11821 Донская, К-11823 Ника 3, К-10028 Низкостебельная, К-11515 Паллада, которые можно использовать в скрещиваниях с сортами селекции ФАНЦ Северо-Востока для расширения генетического разнообразия селекционного материала озимой ржи в условиях Кировской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hackauf B., Siekmann D., Fromme F. Improving yield and yield stability in winter rye by hybrid breeding // Plants. – 2022. – N 11(19). – Art. No. 2666. – DOI: 10.3390/plants11192666.
2. Направления, методы и результаты селекции ржи (*S. cereale* L.) в Беларуси / Э.П. Урбан [и др.] // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. – 2022. – Т. 60 (2). – С. 160–170. – DOI: 10.29235/1817-7204-2022-60-2-160-170.
3. Маннапова Г.С., Пономарева М.Л., Пономарев С.Н. Развитие селекционных стратегий озимой ржи: от массового отбора до геномной селекции // Сб. тез. Междунар. конф. – СПб.: ВИР, 2019. – С. 241. – DOI: 10.30901/978-5-907145-39-9.
4. Пономарева М.Л., Пономарев С.Н. Научные основы селекции озимой ржи: монография. – Казань: Изд-во ФЭН, 2019. – 352 с.
5. Биологические особенности продуктивности различных селекционно-генетических форм озимой ржи / А.М. Каргатова [и др.] // Известия Саратовского университета. Серия Химия. Биология. Экология. – 2017. – Т. 17, вып. 1. – С. 48–52. – DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-48-52.
6. Гончаренко А.А. Актуальные вопросы селекции озимой ржи: монография. – М.: Росинформагротех, 2014. – 372 с.
7. Торон Е.А., Чайкин В.В., Торон А.А. Пути повышения потенциала продуктивности озимой ржи // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 54. – С. 299–304.
8. Isolation and sequencing of chromosome arm 7RS of rye, *S. cereale* / J. Petereit [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2022. – N 23 (19). – P. 11106. – DOI: 10.3390/ijms231911106.
9. Shahmoradi S., Ghotbi V. Evaluation of of Iranian rye (*S. cereale* L.) ecotypes under late season drought stress // Environmental Stresses in Crop Sciences. – 2022. – N 15(1). – P. 19–29. – DOI: 10.22077/escs.2020.3507.1867.
10. Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Вариабельность адаптивных реакций диплоидных сортов озимой ржи в экологическом изучении // Вестник КрасГАУ (Красноярский государственный аграрный университет). – 2022. – № 3(180). – С. 53–61. – DOI: 10.36718/1819-4036-2022-3-53-61.

11. Юсова О.А., Николаев П.Н. Новый высококачественный сорт ярового ячменя Омский // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 4. – С. 68–76. – DOI:10.31677/2072-6724-2022-65-4-68-76.
12. Сафонова И.В., Аниськов Н.И., Кобылянский В.Д. База данных генетических ресурсов коллекции озимой ржи ВИР как средство классификации генетического разнообразия, анализа истории коллекции и эффективного изучения и сохранения // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2019. – Т. 23 (6). – С. 780–786. – DOI: 10.18699/VJ19.552.
13. Щеклеина Л.М. Адаптивность и устойчивость сортов озимой ржи к грибным болезням // Таврический вестник аграрной науки. – 2022. – № 2(30). – С. 164–173. – EDN: ARVLXP.
14. Кобылянский В.Д. Рожь. Генетические основы селекции: монография. – М.: Колос. – 1982. – 271 с.
15. Стихин М.Ф., Денисов П.В. Озимая рожь и пшеница в Нечерноземной полосе. – Л.: Колос, 1977. – 320 с.
16. Чайкин В.В., Тороп А.А., Тороп Е.А. Изменение архитектоники растения как направление в селекции озимой ржи // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2021. – № 3 (39). – С. 23–33. – DOI: 10.24412/2309-348X-2021-3-23-33.
17. Кобылянский В.Д., Солодухина О.В. Использование доноров ценных признаков растений в селекции новых сортов озимой ржи // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29, № 7. – С. 7–12.

REFERENCES

1. Hackauf B., Siekmann D., Fromme F., Improving yield and yield stability in winter rye by hybrid breeding, Plants, 2022, No. 11 (19), Art. No. 2666, DOI: 10.3390/plants11192666.
2. Urban Je.P., Gordej S.I., Artjuh D.Ju., Gordej I.S., Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk, 2022, T. 60 (2), pp. 160–170, DOI: 10.29235/1817-7204-2022-60-2-160-170. (In Russ.)
3. Mannapova G.S., Ponomareva M.L., Ponomarev S.N., Mezhdunarodnaya konferentsiya “125 let prikladnoi botaniki v Rossii” (International Conference “125 Years of Applied Botany in Russia”), Book of Abstracts, November 25–28, 2019, St. Petersburg, VIR, 2019, pp. 241, DOI: 10.30901/978-5-907145-39-9. (In Russ.)
4. Ponomareva M.L., Ponomarev S.N., Nauchnye osnovy selektsii ozimoi rzhi (Scientific bases of winter rye breeding), Kazan: Izd-vo FEN, 2019, 352 p.
5. Kargatova A.M., Stepanov S.A., Ermolaeva T.Ya., Nuzhdina N.N., Izvestiya Saratovskogo universiteta. Ser. Khimiya. Biologiya. Ekologiya, 2017, T. 17, Vyp. 1, pp. 48–52, DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-48-52. (In Russ.)
6. Goncharenko A.A., Aktual'nye voprosy selektsii ozimoi rzhi (Pressing questions of the winter rye breeding), Moscow: Rosinformagrotekh, 2014, 372 p.
7. Torop E.A., Chaikin V.V., Torop A.A., Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, Krasnodar: KubGAU, 2015, No. 54, pp. 299–304. (In Russ.)
8. Petereit J., Tay Fernandez C., Marsh J.I., Bayer P.E., Thomas W.J.W., Aliyeva A.J., Karafiátová M., Doležel J., Batley J., Edwards D., Isolation and sequencing of chromosome arm 7RS of rye, *S. cereal*, International Journal of Molecular Sciences, 2022, No. 23 (19), pp. 11106, DOI: 10.3390/ijms231911106.
9. Shahmoradi S., Ghotbi V., Evaluation of of Iranian rye (*S. cereale* L.) ecotypes under late season drought stress, Environmental Stresses in Crop Sciences, 2022, No. 15 (1), pp. 19–29, DOI: 10.22077/escs.2020.3507.1867.
10. Safonova I.V., Anis'kov N.I., Vestnik KrasGAU (Krasnoyarskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet), 2022, No. 3 (180), pp. 53–61, DOI:10.36718/1819-4036-2022-3-53-61. (In Russ.)
11. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet), 2022, No. 4, pp. 68–76, DOI:10.31677/2072-6724-2022-65-4-68-76. (In Russ.)
12. Safonova I.V., Anis'kov N.I., Kobylyanskii V.D., Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii, 2019, T. 23 (6), pp. 780–786, DOI: 10.18699/VJ19.552. (In Russ.)
13. Shchekleina L.M., Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki, 2022, No. 2 (30), pp. 164–173, EDN: ARVLXP. (In Russ.)

14. Kobylanskii V.D., Rozh'. Geneticheskie osnovy selektsii (Rye. Genetic basis of breeding), Moscow: Kolos, 1982, 271 p.
15. Stikhin M.F., Denisov P.V., Ozimaya rozh' i pshenitsa v Nechernozemnoi polose (Winter rye and wheat in the Non-Chernozem zone), Leningrad: Kolos, 1977, 320 p.
16. Chaikin V.V., Torop A.A., Torop E.A., Zernobobovye i krupyanye kul'tury, 2021, No. 3 (39), pp. 23–33, DOI: 10.24412/2309-348X-2021-3-23-33. (In Russ.)
17. Kobylanskii V.D., Solodukhina O.V., Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2015, T. 29, No. 7, pp. 7–12. (In Russ.)

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ И ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ТОМАТА В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОГО ГРУНТА

А.Ф. Петров, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Р.Р. Галеев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Н.В. Гаврилец, начальник информационно-аналитического и патентного отдела

А.В. Пастухова, аспирант

И.Е. Лаврищев, аспирант

М.П. Боднарюк, аспирант

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: Petrov190378@mail.ru

Ключевые слова: томат, сорта, азотные удобрения, аммиачная селитра, КАС-32, урожайность, качество продукции.

Реферат. Томат – это одна из основных овощных культур, которая ценится за высокое содержание в плодах различных витаминов, органических кислот, антиоксидантов, полезных макро- и микроэлементов и других веществ, необходимых для поддержания нормальной жизнедеятельности организма. В силу своих особенностей томат распространен широко, но всё ещё есть «белые пятна» в технологии его производства, особенно в области применения удобрений. В данной статье изложен опыт применения различных норм жидких (КАС-32) и твёрдых (аммиачная селитра) минеральных азотных удобрений на авторских сортах томата в условиях открытого грунта. Установлено, что применение азотных удобрений оказывает существенное влияние на продолжительность основных фаз вегетации и всего периода в целом, так, применение аммиачной селитры до 15, а КАС-32 – до 17 суток увеличивает вегетационный период. Под действием удобрений существенно улучшается структура урожая и повышается продуктивность культуры. Разница по отношению к контролю составляет более 150 %, причём максимальный эффект достигается при повышенных дозах КАС-32. Максимальная прибавка урожайности составляет 45 т/га в вариантах с применением аммиачной селитры и до 62 т/га – в вариантах с КАС-32. Под влиянием применения азотных удобрений применение удобрений увеличивает содержание сухого вещества до 15–20%, общего сахара – до 76 витамина С – до 38 %. Наибольший эффект достигается при применении КАС-32, когда все качественные показатели выше на 5–10 % по сравнению с аммиачной селитрой.

INFLUENCE OF DIFFERENT FORMS AND RATES OF MINERAL NITROGEN FERTILIZERS ON TOMATO PRODUCTIVITY IN OPEN FIELD CONDITIONS

A.F. Petrov, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

R.R. Galeev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

N.V. Gavrillets, Head of the Informational-Analytical and Patent Department

A.V. Pastukhova, Graduate Student

I.E. Lavrishev, Graduate Student

M.P. Bodnaryuk, Graduate Student

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: Petrov190378@mail.ru

Keywords: tomato, varieties, nitrogen fertilisers, ammonium nitrate, KAS-32, yield, product quality.

Abstract. Tomato is one of the major vegetable crops valued for its high content of various vitamins, organic acids, antioxidants, essential macro- and microelements, and other substances necessary for maintaining normal body functions. Due to its characteristics, tomatoes are widely grown, but there are still "blank spots" in their production technology, especially in fertiliser application. This article presents the experience of using different rates of liquid (KAS-32) and solid (ammonium nitrate) mineral nitrogen fertilisers on the author's tomato varieties in open field conditions. The authors found a significant effect of nitrogen fertilisers on the duration of the main

phases of the growing season and the entire period of tomato growth. Specifically, using ammonium nitrate for up to 15 days and KAS-32 for up to 17 days increases the vegetation period. Fertiliser application substantially improves crop structure and increases crop productivity. The difference compared to the control is over 150%, with the maximum effect achieved at increased doses of KAS-32. The maximum yield increase is 45 t/ha in variants with ammonium nitrate and up to 62 t/ha in variants with KAS-32. Under the influence of nitrogen fertiliser application, the content of dry matter increases by 15–20%, total sugar by 76%, and vitamin C by 38%. The most significant effect is achieved using KAS-32, where all quality indicators are 5–10% higher than ammonium nitrate.

Овощеводство – это одна из отраслей сельского хозяйства, основная доля которого приходится на личные подсобные хозяйства, где остро стоит вопрос качества семян.

Среди овощных культур преимущественно выращивают огурец, томаты и перец. Данным культурам принадлежит одно из ведущих мест в деле обеспечения населения высококачественной продукцией. Удивительная пластичность этих растений, способных расти и плодоносить в самых разных экологических условиях, а также созданное селекционерами большое сортовое разнообразие позволяют продвигать эти теплолюбивые культуры далеко на север и выращивать их как в защищенном, так и в открытом грунте [1–4].

В России в настоящее время районировано более 200 сортов и гибридов огурца, более 500 – томата и более 100 – перца. Интенсивная селекционная работа с этими культурами проводится в различных научных учреждениях России, стран Европы и Северной Америки [2, 3].

Овощная продукция – это основной источник витаминов, углеводов и минеральных веществ для организма человека [4, 5]. Рост ее производства является одной из главных задач в развитии АПК России. Не исключением является и Западная Сибирь, однако в силу своих климатических особенностей она сильно уступает другим регионам нашей страны, особенно в области производства томатов открытого грунта, основные объемы которых выращиваются на участках садоводов-любителей.

Основные площади под овощными культурами, и особенно под томатами, сосредоточены в Астраханской области, которая во времена Советского Союза имела статус «всесоюзного огорода». В настоящее время площади под данной культурой составляют свыше 85 тыс. га.

Но несмотря на широкий ареал распространения и большие площади возделывания урожайность культуры остаётся невысокой – в среднем 45–50 т/га. Основная причина этого – слабый уровень агротехники и недостаток питательных веществ, в частности минерального азота.

Цель исследований – усовершенствовать технологию возделывания томатов открытого грунта в условиях лесостепи Западной Сибири.

Для достижения поставленной цели предстояло решить следующие задачи:

- определить влияние различных форм и доз минеральных азотных удобрений на продолжительность фенологических фаз и вегетационного периода томатов открытого грунта;
- изучить влияние применения минеральных азотных удобрений на урожайность томатов;
- дать оценку изучаемым сортам томатов по биохимическим показателям в зависимости от уровня минерального питания.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опыт был заложен в 2020–2022 гг. на землях УПХ «Сад мичуринцев» Новосибирского ГАУ на площади 0,05 га в соответствии с методикой полевого опыта [6]. Климат данной зоны характеризуется ярко выраженной континентальностью, с продолжительной холодной зимой и коротким, жарким, нередко засушливым летом.

Схема опыта:

1. Контроль (без удобрений).
2. Аммиачная селитра (NH_4NO_3) – N_{60} .
3. Аммиачная селитра (NH_4NO_3) – N_{90} .
4. КАС-32 ($\text{NH}_4\text{NO}_3-(\text{NH}_2)_2\text{CO}-\text{H}_2\text{O}$) – N_{60} .
5. КАС-32 ($\text{NH}_4\text{NO}_3-(\text{NH}_2)_2\text{CO}-\text{H}_2\text{O}$) – N_{90} .

Почва опытного участка – серая лесная.

Содержание гумуса в пахотном горизонте – 3,1–3,9 %, азота нитратного – 11,1–13,5 мг/кг, азота аммиачного – 12,2–13,9 мг/кг, подвижного фосфора – 154–168 мг/кг (по Чирикову Ю. И., 1969), обменного калия – 179–186 мг/кг почвы. Сумма поглощенных оснований – 30,4–51,0 мг-экв/100 г почвы, $\text{pH}_{\text{сол}}$ 7,1–7,3 (данные ЦАС Новосибирский).

В качестве объектов исследований взяты сорт Боец (Буян) и два авторских сорта томата – Рая и Филимоновна.

Агротехника возделывания классическая, начинается с получения рассады. Посев томатов на рассаду для открытого грунта в усло-

виях Западной Сибири производится в конце марта – начала апреля. Для посева была взята готовая почвенно-торфяная смесь Terra Vita. Предшественником во все годы исследований были однолетние травы. Аммиачную селитру в установленных дозах вносили вразброс непосредственно перед посевом под культивацию, КАС-32 – в эти же сроки опрыскивателем. Высадка растений производилась в первой декаде июня вручную по схеме 70 x 35 см.

Основной уход за растениями включал в себя своевременные поливы, рыхление, пасынкование и подвязку растений. Учёт и уборку урожая проводили четырехкратно по мере созревания плодов. Полученные данные обработаны методом дисперсионного анализа на ПК с использованием программы SNEDEKOR.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из наиболее важных процессов жизнедеятельности томатов, как и любых других культур, являются процессы роста и развития, в которых выражена свойственная каждому организму потенциальная способность к размножению и самовоспроизведению. В процессе роста и развития растений происходят качественные изменения структуры организма, которые обуславливают прохождение растением определенных этапов онтогенеза. Переход от одного этапа развития к другому сопровождается сложными биохимическими и физиологическими изменениями [7–11]. Сроки прохождения тех или иных этапов онтогенеза могут сильно варьировать в зависимости от года исследований, а также от применения азотных минеральных удобрений.

Погодные условия третьей декады мая и первой декады июня 2020 г. характеризовались как жаркие и сухие, что негативно сказывалось на высаженных в открытый грунт растениях. Тёплый и относительно сухой июль положительно повлиял на рост и развитие растений, что способствовало сокращению периода отдельных этапов онтогенеза. Аномально жаркий август 2020 г. также положительно сказался на продолжительности вегетации, но при этом требовались дополнительные поливы, особенно в вариантах с применением КАС-32, где на отдельных участках отмечалось незначительное увядание растений.

Холодная сухая погода июня 2021 г. отрицательно повлияла на рост и развитие растений томатов. Однако тёплый и влажный июль способствовал улучшению ситуации, когда растения в оптимальных условиях вошли в фазу

бутионизации и цветения. Первая декада августа также была оптимальной для томата, но влажные относительно холодные две последующие декады месяца внесли свои коррективы: наблюдались задержка в созревании и очаговое поражение растений фитопатогенами.

Аномально жаркая, сухая погода мая и начала июня 2022 г. отрицательно сказывалась на приживаемости растений томата в условиях открытого грунта. Относительно сухая и прохладная погода последующих месяцев также была неблагоприятной для томатов, когда основные этапы онтогенеза затягивались, что отрицательно повлияло на вегетационный период в целом.

В результате изучения влияния различных форм и норм азотных удобрений на томатах защищённого грунта было установлено, что они оказывают сильное влияние на продолжительность отдельных межфазных периодов и вегетацию растений в целом. При этом следует заметить, что если продолжительность периода «всходы–начало цветения» по обработанному фону ниже, чем в контроле, то в последующие периоды вегетации положение кардинально меняется, и минеральные азотные удобрения сильно затягивают все фазы развития, особенно повышенные дозы. При этом в вариантах с применением жидких азотных удобрений КАС-32 эта разница максимально высокая, в среднем на 3–5 суток по отношению к аммиачной селитре и на 13–16 суток по отношению к контролю (табл. 1).

Максимальное воздействие удобрений на удлинение периода вегетации было отмечено по сорту Боец (Буян), аммиачная селитра при норме внесения 90 кг д.в./га привела к увеличению периода вегетации до 15 суток, который в среднем за 3 года составил 104 дня. Применение КАС-32 в той же дозе увеличивало период вегетации до 17 суток, и он составил в среднем 106 дней.

Минимальное действие азотных удобрений отмечалось по авторскому сорту Рая, где в среднем за годы исследований увеличение периода вегетации по максимальным дозам аммиачной селитры и КАС-32 составило 5 и 12 суток соответственно. При этом данный сорт имел самый короткий период вегетации, что весьма актуально в условиях Западной Сибири.

Наиболее важным показателем любой сельскохозяйственной культуры является её продуктивность, которая формируется в течение всего периода вегетации, вначале в виде вегетативных органов, а затем репродуктивных [10, 12, 13].

Таблица 1

Влияние различных вариантов пищевого режима на прохождение фенологических фаз и продолжительность вегетационного периода томатов открытого грунта (2020–2022 гг.).
Influence of various feeding regimes on the progression of phenological phases and the vegetative period of open field tomatoes (2020–2022).

Сорт	Вариант (фон – P ₄₀ , K ₆₀)	Посев	Всходы	Высадка в грунт	Число суток		
					всходы– цветение	всходы– начало со- зревания	всходы– массовое созревание
Боец (Буян)	Контроль	20.04	03.05	05.06	41	71	89
	NH ₄ NO ₃ – 60				42	75	100
	NH ₄ NO ₃ – 90				43	77	104
	КАС – 60				39	80	104
	КАС – 90				41	85	106
Филимо- новна	Контроль	20.04	04.05	05.06	45	80	101
	NH ₄ NO ₃ – 60				49	87	105
	NH ₄ NO ₃ – 90				51	92	108
	КАС – 60				50	93	107
	КАС – 90				53	96	111
Рая	Контроль	20.04	01.05	05.06	49	63	81
	NH ₄ NO ₃ – 60				48	67	86
	NH ₄ NO ₃ – 90				51	69	86
	КАС – 60				45	71	91
	КАС – 90				46	73	93

Томаты в отличие от большинства других овощных культур имеют продолжительный период роста и развития. Следовательно, потенциально возможная продуктивность у них велика. Этому способствуют также природно-климатические факторы, приемы агротехники и особенно применение минеральных азотных удобрений [13–17]. Генетически возможная продуктивность данной культуры в условиях открытого грунта Западной Сибири составляет 15–20 кг с 1 м², фактическая же едва достигает 5–7 кг. Следовательно, данный вопрос является одним из основных при производстве томатов.

В целом за 3 года исследований было установлено, что азотные удобрения существенно влияют на структуру биологического урожая.

Увеличение нормы минеральных азотных удобрений вызывало резкий рост всех структурных показателей урожая, особенно средней массы плодов, где по отдельным вариантам опыта разница достигала 180%. Учёты проводились и по количеству плодов на одно растение, где разница составляла в среднем 2–3 шт. (рис. 1).

В результате проведенных исследований было установлено, что азотные удобрения оказывают влияние на продуктивность томата открытого грунта, но в существенной зависимости от агроклиматических условий. Так, погодные условия 2020 г. были наиболее благоприятными для роста и развития растений, средняя урожайность томатов была выше 2021 г. на 22 % и на 34% выше 2022 г.

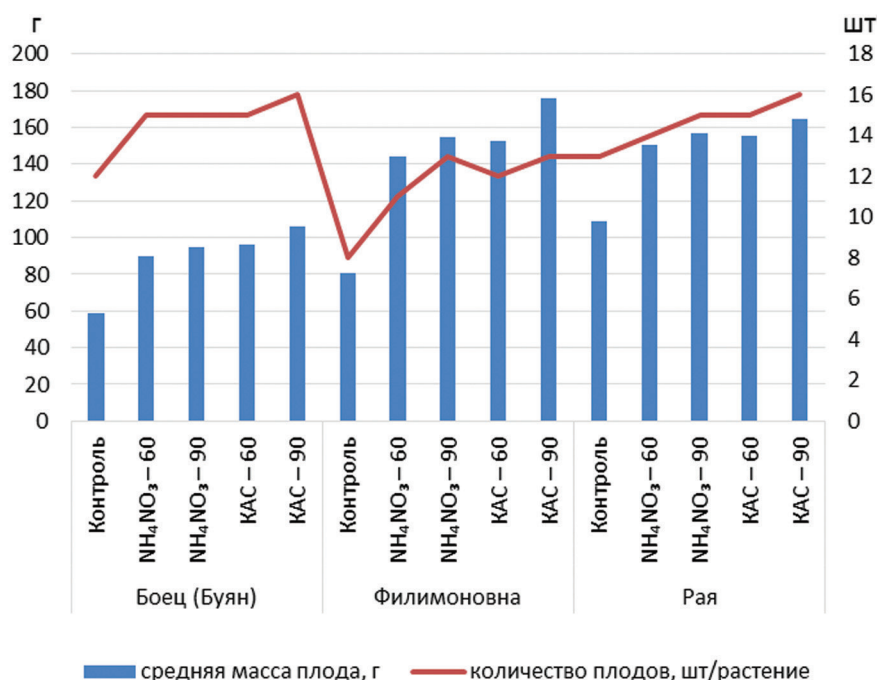
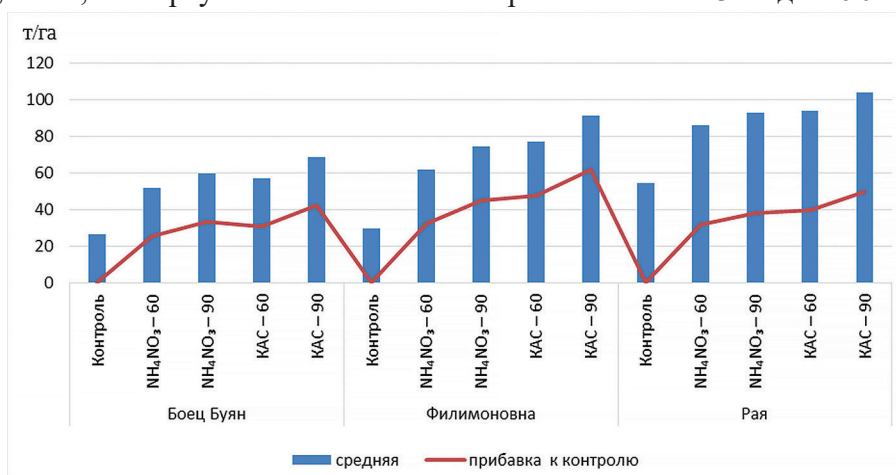


Рис. 1. Структурные показатели урожая зависимости от применяемых удобрений (2020–2022 гг.)

Crop structure indicators depending on the applied fertilisers (2020–2022).

В среднем за 3 года исследований было установлено, что прибавка по урожайности к контролю по сорту Боец (Буян) составила от 25,2 до 42,4 т/га, по сорту Филимоновна –

32,3–61,5, сорту Рая – 31,8–49,6 т/га. При этом максимальный эффект от применения минеральных азотных удобрений был отмечен в вариантах с KAS-32 в дозе 90 кг д.в/га (рис. 2).



Индекс детерминации А (генотип) – 32,42%, В (удобрения) – 38,5 %, С (год) – 26%. АВ – 2,15, АС – 1,68, ВС – 2,13, ABC – 0,57

Рис. 2. Влияние минеральных азотных удобрений на урожайность сортов томата (2020–2022 гг.)

Influence of mineral nitrogen fertilisers on the yield of tomato varieties (2020–2022).

Следует отметить, что наиболее урожайным был сорт Рая, который в условиях открытого грунта формировал урожайность до 103,9 т/га, что на 11,3% выше, чем по сорту

Филимоновна, и более чем на 50 % – по сорту Боец (Буян). При этом в результате исследований было установлено, что данный сорт наиболее пластичный, а следовательно, лучше

адаптирован к условиям Сибири и способен давать урожай даже при минимальном питательном режиме.

Плоды томата являются основным сырьем для консервирования в нашей стране, в них содержится множество витаминов (B_1 , B_2 , С, А, РР, В₉, Н и др.), органических кислот (яблочная и лимонная) и минеральных солей (К, Na, Са, Mg, Р, Fe, I, S). Эти соединения необходимы для оптимального обмена веществ в организме человека и сохранения его жизнедеятельности [4, 5, 11].

При проведении исследований было установлено, что минеральные азотные удобрения

влияют на биохимический состав плодов томата в условиях открытого грунта. Так, применение азотных удобрений в сравнении с контролем способствовало росту содержания сухого вещества в среднем по сортам на 15 % в вариантах с аммиачной селитрой и на 18 % – в вариантах с КАС-32, общего сахара – на 64 и 76, витамина С – на 31 и 38 % соответственно. Но при этом следует заметить, что увеличивается и общая кислотность в среднем до 15%, что повлияло на общие вкусовые качества (табл. 2).

Таблица 2

Биохимический состав плодов томата в зависимости от применения азотных удобрений (2020–2022 гг.)
Biochemical composition of tomato fruits depending on the application of nitrogen fertilizers (2020–2022)

Сорт	Вариант	Сухое вещество, %	Общий сахар, %	Витамин С, мг/100 г	Общая кислотность, %	Нитраты, мг/кг
Боец (Буян)	Контроль	5,16	2,33	10,39	0,61	28
	NH_4NO_3 – 60	5,51	3,66	13,33	0,64	42
	NH_4NO_3 – 90	6,76	4,62	14,81	0,66	56
	КАС – 60	6,80	4,60	14,79	0,69	77
	КАС – 90	7,28	4,89	14,63	0,71	79
Филимоновна	Контроль	5,14	3,73	11,19	0,62	42
	NH_4NO_3 – 60	5,86	4,41	12,23	0,79	54
	NH_4NO_3 – 90	5,61	4,55	13,29	0,79	56
	КАС – 60	5,39	4,59	14,26	0,76	69
	КАС – 90	5,68	4,89	14,76	0,73	78
Рая	Контроль	6,49	4,31	13,24	0,56	38
	NH_4NO_3 – 60	7,50	4,99	15,19	0,59	49
	NH_4NO_3 – 90	8,09	5,11	15,59	0,61	47
	КАС – 60	8,18	5,03	15,61	0,61	73
	КАС – 90	8,56	5,16	15,55	0,62	79
HCP ₍₀₅₎ A		0,13	0,16	0,24	0,26	0,36
HCP ₍₀₅₎ B		0,21	0,21	0,24	0,26	0,36
HCP ₍₀₅₎ AB		0,35	0,34	0,47	0,43	0,71

Форма азотных удобрений также оказывала влияние на биохимический состав плодов томата. Внесение КАС-32 вызывало рост основных показателей до 10 %.

Среди всех изучаемых сортов томата наибольшее содержание сухого вещества (8,56 %),

общего сахара (5,16%) и витамина С (15,55–15,61 мг/100 г) получено по сорту Рая. Данный сорт имеет и самые низкие показатели по кислотности, что при соотношении к сахарам делает его плоды самыми сладкими и вкусными для употребления в свежем виде.

ВЫВОДЫ

1. Применение минеральных азотных удобрений в производстве томатов существенно влияет на рост, развитие растений и их период вегетации, который в зависимости от нормы и формы удобрений может увеличиться на 2–3 недели, что в условиях открытого грунта не всегда даёт положительный эффект, особенно в холодные и влажные годы.

2. Внесение азотных удобрений оказывает положительное влияние на формирование структуры урожая: средняя масса и количество плодов с одного растения по отношению к контролю возрастают до 100%, особенно при повышенных дозах жидких азотных удобрений.

3. Продуктивность томата очень сильно зависит как от дозы, так и от формы применяемого удобрения. Так, в среднем по опыту отмечалось 2–3-кратное увеличение урожайности, при этом показатели в вариантах с применением КАС-32 были в среднем на 20% выше по отношению к аммиачной селитре. Максимальные показатели урожайности томата отмечены по сорту Рая (103,9 т/га).

4. Нормы минеральных азотных удобрений, а также их форма оказывают влияние и на биохимический состав плодов. Так, в среднем применение удобрений увеличивает содержание сухого вещества до 15–20%, общего сахара – до 76, витамина С – до 38 %. При этом разница по формам удобрений составляет не более 10%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Овощеводство Западной Сибири* / Е.Г. Гринберг, Т.Г. Ксензова, Р.Ф. Хананова [и др.]; под ред. Т.Г. Ксензовой и Р.Ф. Ханановой; Новосиб. гос. аграр. ун-т. – Новосибирск, 2006. – 237 с.
2. *Тараканов Г.И., Борисов Н.В., Климов В.В.* Овощеводство защищенного грунта. – М.: Колос, 1982. – 303 с.
3. *Петров А.Ф., Коваль Ю.И., Листков В.Ю.* Влияние различных форм азотных удобрений на урожайность томата // *Инновации и продовольственная безопасность*. – 2019. – № 2 (24). – С. 145–150.
4. *Хандархаева Н.А.* Пищевая ценность свежих томатов в зависимости от места их возделывания // *Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона: сб. науч. тез. студентов / Иркут. гос. аграр. ун-т им. А.А. Ежевского*. – Иркутск, 2021. – С. 165–166.
5. *Алпатыев А.В.* Помидоры. – М.: Колос, 1981. – 304 с.
6. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Альянс, 2014. – 350 с.
7. *Ивакин О.В.* Научно-методологические основы выращивания томатов в условиях негативного воздействия факторов открытого грунта (на примере западной Сибири): дис. д-ра техн. наук. – Новосибирск, 2016. – 295 с.
8. *Лудилов В.А., Фомин В.А.* Томаты, перцы, баклажаны. – Ростов-н/Д., 1981. – 54 с.
9. *Леопольд А.К.* Рост и развитие растений / пер. с англ. А. А. Бундель [и др.]; под ред. и с предисл. проф. И.И. Гунара. – М.: Мир, 1968. – 494 с.
10. *Гоулд У.А.* Производство томатов. – М.: Пищ. пром-сть, 1979. – 352 с.
11. *Паиков Д.А.* Ботаническая и биологическая характеристика томата // *Образование, наука, производство* – 2017. – Ставрополь: Секвойя, 2017. – С. 164–166.
12. *Гуркина Л.К.* Как получить высокий и качественный урожай томата? // *Защита и карантин растений*. – 2002. – № 3. – С. 57.
13. *Иванов В.С., Чагин В.В.* Продуктивность сортов томатов в условиях сухостепной зоны Хакасии // *Аграрная наука* – 2022: материалы Всерос. конф. молодых исследователей, Москва, 22–24 нояб. 2022 г. – М.: Рос. гос. аграр. ун-т – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 747–750.
14. *Эффективность минеральных удобрений в семеноводстве томатов* / Е.Г. Кипаева, Ш.Б. Байрамбеков, М.Ю. Анишко, Е.Д. Гарьянова // *АгроЭкоИнфо*. – 2019. – № 2 (36). – С. 20.
15. *Пастухова А.В., Петров А.Ф., Гаврилец Н.В.* Влияние форм и доз вносимых удобрений на показатели качества плодов томата // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2021. – № 11 (205). – С. 31–40. – DOI: 10.53083/1996-4277-2021-205-11-31-40.
16. *Титовцева О. Ю.* Влияние удобрений на продуктивность томата Мерлис F1 в условиях защищенного грунта // *Современные тенденции развития науки и технологий: сб. науч. тр.*

по материалам Междунар. науч.-практ. конф., Ставрополь, 17–19 окт. 2018 г. – Ставрополь: Секвойя, 2018. – С. 156–158.

17. Пердебаева И.Б., Алламурастов М.О., Бекбанов А.Ж. Влияние органических и минеральных удобрений на свойства почвы и продуктивность растений томата // Форум молодых ученых. – 2023. – № 5 (81). – С. 184–187.

REFERENCES

1. Grinberg E.G., Ksenzova T.G., Khananova R.F. [i dr.], Ovoshchevodstvo Zapadnoy Sibiri (Vegetable growing in Western Siberia), Novosib. gos. agrar. un-t, Novosibirsk, 2006, 237 p.
2. Tarakanov G.I., Borisov N.V., Klimov V.V., Ovoshchevodstvo zashchishchennogo grunta (Protected ground vegetable growing), Moscow: Kolos, 1982, 303 p.
3. Petrov A.F., Koval' Yu.I., Listkov V.Yu., Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost', 2019, No. 2 (24), pp. 145–150. (In Russ.)
4. Khandarkhaeva N.A., Znachenie nauchnykh studencheskikh kruzhkov v innovatsionnom razvitii agropromyshlennogo kompleksa regiona (The value of scientific student circles in the innovative development of the agro-industrial complex of the region), Abstracts of Papers, Irkutsk, 2021, pp. 165–166. (In Russ.)
5. Alpat'ev A.V., Pomidory (Tomatoes), Moscow: Kolos, 1981, 304 p.
6. Dospekhov B.A., Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) (Field experience methodology (with the basics of statistical processing of research results)), Moscow: Al'yans, 2014, 350 p.
7. Ivakin O.V., Nauchno-metodologicheskie osnovy vyrashchivaniya tomatov v usloviyakh negativnogo vozhdeystviya faktorov otkrytogo grunta (na primere zapadnoy Sibiri) (Scientific and methodological foundations for growing tomatoes under the negative impact of open ground factors (on the example of Western Siberia)), Doctors thesis, Novosibirsk, 2016, 295 p.
8. Ludilov V.A., Fomin V.A., Tomaty, pertsy, baklazhany (Tomatoes, peppers, eggplant), Rostov-na Donu, 1981, 54 p.
9. Leopold A.K., Rost i razvitie rasteniy (Plant growth and development), per. s angl A.A. Bundel' [i dr.]; pod red. i s predisl. prof. I.I. Gunara, Moscow: Mir, 1968, 494 p.
10. Gould U.A., Proizvodstvo tomatov (Tomato production), Moscow: Pishch. prom-st', 1979, 352 p.
11. Pashkov D.A., Obrazovanie, nauka, proizvodstvo, 2017, Stavropol': Sekvoyya, 2017, pp. 164–166. (In Russ.)
12. Gurkina L.K., Zashchita i karantin rasteniy, 2002, No. 3, pp. 57. (In Russ.)
13. Ivanov V.S., Chagin V.V., Agrarnaya nauka – 2022 (Agricultural Science - 2022), Proceedings of the Conference Title, Moscow: Ros. gos. agrar. un-t – MSKhA im. K.A. Timiryazeva, 2022, pp. 747–750. (In Russ.)
14. Kipaeva E.G., Bayrambekov Sh.B., Anishko M.Yu., Gar'yanova E.D., AgroEkoInfo, 2019, No. 2 (36), pp. 20. (In Russ.)
15. Pastukhova A.V., Petrov A.F., Gavrilets N.V., Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2021, No. 11 (205), pp. 31–40, DOI: 10.53083/1996-4277-2021-205-11-31-40. (In Russ.)
16. Titovtseva O.Yu., Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologiy (Modern trends in the development of science and technology), Proceedings of the Conference Title, Stavropol': Sekvoyya, 2018, pp. 156–158. (In Russ.)
17. Perdebaeva I.B., Allamuratov M.O., Bekbanov A.Zh., Forum molodykh uchenykh, 2023, No. 5 (81), pp. 184–187. (In Russ.)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА УРОЖАЙНОГО И АДАПТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА СОРТОВ ГОРОХА И СОИ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ

¹**В.А. Сапега**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

²**Г.Ш. Турсумбекова**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹*Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия*

²*Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия*

E-mail: sapegavalerii@rambler.ru

Ключевые слова: горох, соя, сорт, урожайность, стрессоустойчивость, изменчивость урожайности, отзывчивость, гомеостатичность, общая адаптивная способность.

Реферат. Цель исследования – комплексная оценка сортов гороха и сои на основе их ранжирования по урожайности и параметрам адаптивности в условиях северной лесостепной зоны Тюменской области за 2019–2021 гг. Выявлена значительная вариабельность условий среды в годы испытания сортов. По величине средней урожайности, а также средней урожайности в контрастных условиях лучшим сортом гороха был Остинато (соответственно 33,8 и 36,9 ц/га), а сои – сорт Сибириада (соответственно 13,2 и 11,9 ц/га). Реализация потенциала урожайности низкая у всех сортов и не превышала 75%. По массе 1000 зерен и высоте растений сорта гороха превосходили сорта сои. Продолжительность вегетационного периода сортов сои была больше на 25–30 сут по сравнению с сортами гороха. Устойчивость к полеганию высокая у всех сортов. Стрессоустойчивость низкая у всех сортов и особенно у гороха. Ее величина составляла от минус 11,8 у сорта сои Сибиричка до минус 20,0 ц/га у сорта гороха Остинато. Изменчивость урожайности сортов значительная – от 33,4 (сорт гороха Остинато) до 53,4% (сорт сои СибНИИК–315). Коэффициент регрессии всех сортов гороха и сои был равен или близок к единице, от $b_i = 0,96$ (сорт сои Сибиричка) до $b_i = 1,04$ (сорт гороха Остинато и сорт сои Сибириада), что характеризует их как пластичные. По гомеостатичности сорта сои превосходили сорта гороха. Лучшим по этому показателю у гороха был сорт Остинато ($Hom = 5,06$), а у сои – сорт Сибириада ($Hom = 2,06$). Наибольшей общей адаптивной способностью характеризовались сорт гороха Остинато (2,4) и сорт сои Сибириада (0,8). По сумме рангов оценки параметров урожайности и адаптивности лучшим у гороха признан сорт Остинато (сумма рангов 11), а у сои – сорт Сибириада (сумма рангов 11).

COMPARATIVE ASSESSMENT OF YIELD AND ADAPTIVE POTENTIAL OF PEA AND SOYBEAN VARIETIES IN THE CONDITIONS OF THE NORTHERN FOREST-STEPPE ZONE OF NORTHERN TRANS-URALS

¹**V.A. Sapega**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

²**G.Sh. Tursumbekova**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

¹*Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia*

²*Northern Trans-Urals State Agricultural University, Tyumen, Russia*

E-mail: sapegavalerii@rambler.ru

Keywords: pea, soybean, variety, yield, stress resistance, yield variability, responsiveness, homeostasis, overall adaptive ability.

Abstract. The research aims to comprehensively assess pea and soybean varieties based on their ranking by yield and adaptive parameters in the conditions of the northern forest-steppe zone of the Tyumen region for the years 2019–2021. The authors identified the significant environmental variability during the years of variety testing. The best pea variety in terms of average yield and average yield in contrasting conditions was Ostinato (33.8 and 36.9 c/ha, respectively), while for soybean, it was the Siberiada variety (13.2 and 11.9 c/ha, respectively). The realisation of yield potential was low for all varieties and did not exceed 75%. Pea varieties outperformed soybean varieties regarding 1000 grain weight and plant height. The vegetation period for soybean varieties was 25–30 days longer than for pea varieties. All sorts exhibited high resistance to lodging. Stress resistance was low for all types, especially peas, ranging from -11.8 for the Siberian variety to -20.0 c/ha for the Ostinato pea. Yield variability among varieties ranged from 33.4% (Ostinato pea variety) to 53.4% (SibNIISK-315 soybean

variety). The regression coefficient for all pea and soybean varieties was equal to or close to one, from $b_i = 0.96$ (Siberiachka soybean variety) to $b_i = 1.04$ (Ostinato pea variety and Siberiada soybean variety), indicating their plasticity. Soybean varieties exceeded pea varieties in terms of homeostasis. The best for peas in this indicator was the Ostinato variety ($\text{Hom} = 5.06$), and for soybeans, it was the Siberiada variety ($\text{Hom} = 2.06$). The pea variety Ostinato (2.4) and the soybean variety Siberiada (0.8) demonstrated the highest overall adaptive ability. Based on the sum of rankings for yield and adaptability parameters, the best pea variety was Ostinato (sum of orders 11). For soybeans, it was the Siberiada variety (sum of rankings 11).

Зернобобовые культуры играют важную роль в решении проблемы острого дефицита растительного белка в питании людей и кормлении сельскохозяйственных животных. Внедрение в производство зернобобовых культур – основной путь в решении данной проблемы [1].

Горох является основной зернобобовой культурой, площадь посева которого в России в 2018 г. составила 1434,7 тыс. га. Он сочетает в себе комплекс ценных признаков и свойств: высокое содержание белка и незаменимых аминокислот, скороспелость, адаптированность к различным природно-климатическим условиям, способность к улучшению почвенного плодородия благодаря фиксации атмосферного азота. Горох широко используется для производства продовольственного зерна, зеленого корма, силоса, сенажа и травяной муки [2–5].

Соя – одна из ведущих культур мирового земледелия. Площадь ее посева превысила 120 млн га, уступая лишь кукурузе, пшенице и рису. В России эту культуру в 2019 г. высевали на площади 3,04 млн га. Ценность сои заключается в высоком содержании белка в семенах, который по аминокислотному составу не уступает животному белку. Семена сои содержат также большое количество минеральных и органических веществ. Из бобов и семян сои производят разнообразные продукты питания: соевое молоко, соусы, творог, муку, кондитерские изделия [6–10].

Увеличение потенциала урожайности сельскохозяйственных культур, в том числе и зернобобовых, является одним из важнейших направлений селекционных программ. Вместе с тем создаваемые сорта должны быть не только высокоурожайными, дающими продукцию высокого качества, но и устойчивыми к комплексу абиотических и биотических стрессов [1, 11–15].

В селекции гороха, наряду с повышением урожайности сортов, большое внимание уделяется устойчивости растений к полеганию растений и осыпанию семян путем создания генотипов с листьями усатого морфотипа и признаками срастания семяножки с семенной оболочкой [16, 17].

В повышении продуктивности сои одним из главных факторов является сорт. В условиях Западной Сибири селекция сои должна быть направлена на создание высокопродуктивных, скороспелых сортов, пригодных к механизированной уборке, устойчивых к пониженным температурам. В целях повышения урожайности сои и ее стабильности в производственных условиях необходим набор генетически разнообразных сортов, характеризующихся различным уровнем интенсивности и экологической устойчивости, что обеспечит максимальную их адаптированность к природно-климатическим условиям региона [18–22].

Цель исследования – оценка сортов гороха и сои по основным показателям продуктивности, а также их ранжирование по величине параметров урожайности и адаптивности в условиях северной лесостепной зоны Тюменской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве материала исследования использовались результаты испытания сортов гороха и сои в условиях северной лесостепной зоны Тюменской области (Ишимский ГСУ) за 2019–2021 гг. [23]. Изучалось три допущенных к использованию за последние пять лет сорта гороха безлисточкового неосыпающегося морфотипа (af, def) (Томас, Багу, Остинато) и три перспективных сорта сои (СибНИИК–315, Сибириада, Сибириячка). Равное число сортов двух культур было взято с целью сравнительной оценки величины индекса условий среды в годы испытания сортов, их урожайности и параметров адаптивности.

Предшественник в годы испытания сортов – яровая пшеница. Срок посева сортов гороха – первая декада мая, сортов сои – вторая декада мая. Норма высева – 1,2 и 0,8 млн всхожих семян на 1 га соответственно сортов гороха и сои. Учетная площадь делянки – 25 м², повторность – четырехкратная, размещение сортов в опыте – рендомизированное. Агротехника в опыте – общепринятая при возделывании

зернобобовых культур в лесостепной зоне Тюменской области.

Реализацию потенциала урожайности сортов гороха и сои определяли по методике Э.Д. Неттевича [24], а их стрессоустойчивость и среднюю урожайность в контрастных условиях – по уравнениям А.А. Rossielle, J. Hemblin [25] в изложении А.А. Гончаренко [26]. Изменчивость урожайности и экологическую пластичность сортов (коэффициент регрессии) определяли соответственно по методике Б.А. Доспехова [27] и S.A. Eberhart, W.A. Russell [28]. Гомеостатичность сортов гороха и сои, а также их общую адаптивную способность определяли соответственно по методике В.В. Хангильдина [29] и А.В. Кильчевского, Л.В. Хотылевой [30].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка основных показателей продуктивности сортов показала, что по массе 1000 зерен

сорта сои значительно уступают сортам гороха. Лучшим у гороха по этому показателю в среднем за 2019–2021 гг. был сорт Томас (254,1 г), а у сои – СибНИИК–315 (142,0 г) (табл. 1).

Продолжительность вегетационного периода – важнейший показатель, который необходимо учитывать, наряду с урожайностью, при решении вопроса допуска сортов к использованию, особенно в отношении сои. Как видно из представленных данных, продолжительность вегетационного периода сортов сои на 25–30 сут больше этого показателя у сортов гороха. Наиболее коротким вегетационным периодом у гороха характеризовались сорта Томас и Багу (76 сут), а у сои – СибНИИК–315 (101 сут).

По высоте растений все сорта гороха превышали сорта сои. У сортов гороха данный показатель был от 78 см (Томас, Остинато) до 85 см (Багу), а у сортов сои – от 49 см (СибНИИК–315) до 53 см (Сибирячка).

Таблица 1

Основные показатели продуктивности сортов гороха и сои (2019–2021 гг.)
Leading productivity indicators of pea and soybean varieties (2019–2021).

Сорт	Год допуска к использованию	Масса 1000 зерен, г	Вегетационный период, сут	Высота растений, см	Устойчивость к полеганию, баллов
<i>Горох</i>					
Томас	2017	254,1	76	78	4,0
Багу	2020	231,7	76	85	4,7
Остинато	2021	250,6	77	78	5,0
<i>Соя</i>					
СибНИИК–315	–	142,0	101	49	5,0
Сибриада	–	112,6	103	52	5,0
Сибирячка	–	133,6	103	53	5,0

Устойчивость к полеганию как один из важных показателей технологичности сорта у всех сортов сои характеризовалась величиной 5,0 балла, а у сортов гороха – от 4,0 (Томас) до 5,0 балла (Остинато).

В годы испытания сортов гороха и сои условия среды характеризовались значительной контрастностью. Наиболее жесткий характер условий, исходя из величины индекса среды, выявлен в 2021 г. при испытании сортов гороха (индекс условий – 6,6) и в 2020 г. в опыте по испытанию сортов сои (индекс условий – 7,2) (табл. 2).

Характер таких условий в вышеотмеченные годы привел к значительному снижению урожайности сортов изученных культур по сравнению с урожайностью в наиболее благоприятных условиях 2019 г. (индекс условий 12,6 – горох и 5,0 – соя). Более значительное по сравнению с сортами гороха снижение урожайности в худших условиях среды отмечено у всех сортов сои, что указывает и на более низкий уровень их адаптивности в условиях региона. Так, урожайность сорта СибНИИК–315 в 2020 г. (индекс условий минус 7,2) снизилась на 12,1 ц/га по сравнению с урожайностью в 2019 г. (индекс условий 5,0).

Индекс условий среды и урожайность сортов гороха и сои
Environmental conditions index and yield of pea and soybean varieties.

Сорт	Год допуска к использо- ванию	Урожайность, ц/га			Средняя урожайность		
		2019 г.	2020 г.	2021 г.	ц/га	ранг	реализация по- тенциала уро- жайности, %
Горох							
Томас	2017	43,4	24,9	24,8	31,0		71,4
Ранг		1	2	3		2	
Багу	2020	41,8	23,7	22,6	29,4		70,3
Ранг		1	2	3		3	
Остинато	2021	46,9	27,7	26,9	33,8		72,1
Ранг		1	2	3		1	
НСР ₀₅		1,6	2,2	1,9			
Индекс условий среды (I _j)		12,6	- 6,0	- 6,6			
Средняя урожайность в опыте, ц/га					31,4		
Соя							
СибНИИК–315	–	16,9	4,8	13,8	11,8		69,8
Ранг		1	3	2		3	
Сибириада	–	18,2	5,6	15,7	13,2		72,5
Ранг		1	3	2		1	
Сибириячка	–	17,0	5,2	14,2	12,1		71,2
Ранг		1	3	2		2	
НСР ₀₅		1,2	0,4	1,0			
Индекс условий среды (I _j)		5,0	- 7,2	2,2			
Средняя урожайность в опыте, ц/га					12,4		

Нами выявлено наличие значительного генотип-средового взаимодействия при испытании сортов как гороха, так и сои, которое привело к смене их рангов по величине урожайности в пределах отдельного года (см. табл. 2). Такое взаимодействие вносит значительный вклад в общую дисперсию урожайности и указывает на необходимость внедрения в производство экологически устойчивых сортов.

По средней урожайности у гороха лучшим был сорт Остинато (33,8 ц/га), а у сои – Сибириада (13,2 ц/га).

По величине средней урожайности в опыте за 2019–2021 гг. сорта сои значительно уступа-

ли сортам гороха. Средняя по опыту урожайность сортов гороха составила 31,4 ц/га, а сортов сои – 12,4, что ниже на 19,0 ц/га.

Важной характеристикой сортов является величина реализации их потенциала урожайности в тех или иных природно-климатических условиях. В целом у сортов изученных культур данный показатель сравнительно низкий и характеризовался величиной у сортов гороха от 70,3 (Багу) до 72,1% (Остинато), а у сортов сои – от 69,8 (СибНИИК–315) до 72,5% (Сибириада). Такие сравнительно низкие показатели реализации потенциала урожайности связаны как с нарушениями технологии воз-

делывания сортов, так и с недостаточной их устойчивостью к жесткому характеру абиотических факторов среды отдельных лет испытания, что привело к резкому снижению урожайности, как это видно, в частности, у сортов сои.

По величине минимальной и максимальной урожайности сорта сои значительно уступают сортам гороха. В худших условиях среды наибольшая минимальная урожайность у гороха отмечена у сорта Остинато (26,9 ц/га), а у сои – у сорта Сибириада (5,6 ц/га) (табл. 3).

Потенциал урожайности, т.е. ее величина в наиболее благоприятных условиях среды, характеризовалась у сортов гороха величиной от 41,8 (Багу) до 46,9 ц/га (Остинато), а у сортов сои он значительно ниже – от 16,9 (СибНИИК–315) до 18,2 ц/га (Сибириада).

Показатель стрессоустойчивости как один из ведущих параметров адаптивности, определяемый по разности между минимальной и максимальной урожайностью, характеризовался низкой величиной у всех сортов изученных культур и особенно у сортов гороха. Лучшим по стрессоустойчивости у гороха был сорт Томас (- 18,6), а у сои – сорт Сибиричка (- 11,8).

Характеристику стрессоустойчивости сорта дополняет показатель его средней урожайности в контрастных (стрессовых и нестрессовых условиях) [26]. Наибольшая средняя урожайность в контрастных условиях выявлена у сорта гороха Остинато (36,9 ц/га) и сорта сои Сибириада (11,9 ц/га).

Таблица 3

Характеристика урожайности и адаптивности сортов гороха и сои (2019–2021 гг.)
Characterisation of yield and adaptability of pea and soybean varieties (2019–2021).

Сорт	Год до- пуска к ис- поль- зова- нию	Параметры урожайности и адаптивности								Сумма рангов
		Y ₂	Y ₁	Y ₂ -Y ₁	$\frac{Y_1+Y_2}{2}$	Cv,%	b _i	Ном	ОАС	
Горох										
Томас	2017	24,8	43,4	- 18,6	34,1	34,5	0,98	4,83	- 0,4	—
Ранг		2	2	1	2	2	3	2	2	18
Багу	2020	22,6	41,8	- 19,2	32,2	36,7	0,99	4,17	- 2,0	—
Ранг		3	3	2	3	3	2	3	3	25
Остинато	2021	26,9	46,9	- 20,0	36,9	33,4	1,04	5,06	2,4	—
Ранг		1	1	3	1	1	1	1	1	11
Соя										
СибНИИК–315	—	4,8	16,9	- 12,1	10,8	53,4	0,98	1,83	- 0,6	—
Ранг		3	3	2	3	3	2	3	3	25
Сибириада	—	5,6	18,2	- 12,6	11,9	50,8	1,04	2,06	0,8	—
Ранг		1	1	3	1	1	1	1	1	11
Сибиричка	—	5,2	17,0	- 11,8	11,1	51,2	0,96	2,00	- 0,3	—
Ранг		2	2	1	2	2	3	2	2	18

Примечание. 1. * Y_2 – минимальная урожайность, ц/га; $Cv, \%$ – изменчивость урожайности, %; Y_1 – максимальная урожайность, ц/га; b_i – пластичность (коэффициент регрессии); $Y_2 - Y_1$ – стрессоустойчивость; Ном – гомеостатичность; $Y_2 - Y_1/2$ – средняя урожайность в контрастных условиях, ц/га; ОАС – общая адаптивная способность.

2. Сумма рангов определена с учетом средней урожайности.

Note. 1. * Y_2 – minimum yield, c/ha; $Cv, \%$ – yield variability, %; Y_1 – maximum yield, c/ha; b_i is plasticity (regression coefficient); $Y_2 - Y_1$ – stress resistance; Ном - homeostatic; $Y_2 - Y_1/2$ – average productivity in contrasting conditions, q/ha; GAA - general adaptive ability.

2. The sum of ranks is determined considering the average yield.

Необходимо отметить, что данные сорта характеризовались и наибольшей минимальной, максимальной и средней урожайностью, но в то же время у них наблюдался наиболее низкий уровень стрессоустойчивости, что характерно в основном для интенсивных сортов.

Изменчивость урожайности значительная у всех сортов как гороха, так и сои. Ее величина у сортов гороха была от 33,4 (Остинато) до 36,7% (Багу), а у сортов сои – от 50,8 (Сибириада) до 53,4% (СибНИИК–315). Это еще раз указывает на недостаточный уровень адаптивности как допущенных к использованию сортов гороха, так и перспективных сортов сои.

Одним из показателей экологической пластичности сортов, согласно методике S.A. Eberhart, W.A. Russell [28], является величина коэффициента регрессии (b_i), который характеризует их отзывчивость на изменение условий среды. У всех изученных нами сортов гороха и сои его величина была равна или близка единице, что позволяет отнести их к группе пластичных. У данных сортов изменение урожайности полностью соответствует изменению условий среды в период испытания. Лучшим сортом по отзывчивости на изменение условий у гороха был Остинато, а у сои – Сибириада (коэффициент регрессии $b_i = 1,04$).

Важным параметром адаптивности сорта выступает его гомеостатичность, которая характеризуется способностью генотипа сводить к минимуму последствия неблагоприятных факторов среды при формировании урожая. Исходя из этого, гомеостаз определяется как стабильность, буферность организма в варьирующих условиях внешней среды [31,32]. Как видно из представленных в табл. 3 данных, гомеостатичность сортов гороха значительно ниже гомеостатичности сортов сои. У гороха лучшим по данному показателю был сорт Остинато ($Hom = 5,06$), а у сои – Сибириада ($Hom = 2,06$). Сравнение гомеостатичности сортов с их максимальной, средней урожайностью, а также средней урожайностью в контрастных условиях и отзывчивостью на изменение условий показало, что с увеличением вышеуказанных параметров урожайности и отзывчивости наблюдается снижение гомеостатичности сортов. Таким образом, по мере повышения интенсивности сортов выявлено снижение их стабильности, лежащей в основе гомеостаза, что согласуется с заключением других исследователей, изучавших проблему взаимосвязи урожайности и адаптивности [12, 24].

Показатель общей адаптивной способности характеризует среднее значение признака при

изучении сортов в различных условиях среды (за ряд лет в одном пункте или в нескольких пунктах в течение одного года), что позволяет выделить генотипы с максимальной средней урожайностью во всей совокупности сред [30]. В целом нами отмечено низкое значение данного параметра у всех сортов изученных культур и значительная его вариабельность в зависимости от сорта (см. табл. 3). У гороха наибольшая адаптивная способность выявлена у сорта Остинато (2,4), а у сои – у сорта Сибириада (0,8). Средняя урожайность данных сортов выше средней урожайности по опыту и их ценность заключается еще в том, что они одновременно характеризуются и наименьшей вариабельностью урожайности.

В процессе селекционной работы, а также при госсортоиспытании важным является отбор генотипов, сочетающих в себе высокие значения параметров как урожайности, так и адаптивности, что способствует повышению урожайности и ее стабильности. В настоящее время существует целый ряд методов оценки адаптивной способности генотипов, которые широко используются в практической селекции [33]. Одновременное их использование позволяет дать более объективную оценку сортам, которая достигается путем их ранжирования по изучаемым параметрам урожайности и адаптивности. Проведение такого ранжирования по результатам наших исследований показало, что наиболее ценным сортом гороха является Остинато (сумма рангов 11), а сортом сои – Сибириада (сумма рангов 11).

ВЫВОДЫ

1. По массе 1000 зерен и высоте растений все сорта гороха превышали сорта сои в среднем соответственно на 116,1 г и 29 см. Продолжительность вегетационного периода у сортов сои была в среднем больше на 26 сут по сравнению с сортами гороха. Устойчивость к полеганию всех сортов, за исключением сортов гороха Томас и Багу, характеризовалась величиной 5,0 балла.

2. В процессе испытания сортов гороха и сои за 2019–2021 гг. выявлено значительное варьирование индекса условий среды, а также генотип-средовое взаимодействие, что привело к смене их рангов по величине урожайности.

3. По средней урожайности, а также средней урожайности в контрастных условиях лучшим у гороха был сорт Остинато (соответственно 33,8 и 36,9 ц/га), а у сои – сорт Сибириада (соответственно 13,2 и 11,9 ц/га). Реализация потенциала урожайности сравнительно низкая

у всех изученных сортов. У гороха ее максимальная величина составила у сорта Остинато (72,1%), а у сои – у сорта Сибириада (72,5%). Изменчивость урожайности значительная у всех сортов гороха и сои. Наименьшей ее величиной у гороха характеризовался сорт Остинато (33,4%), а у сои – сорт Сибириада (50,8%).

4. Показатель стрессоустойчивости низкий у всех изученных сортов. Наибольшая его величина у гороха отмечена у сорта Томас (-18,6), а у сои – у сорта Сибириачка (-11,8).

5. Коэффициент регрессии всех изученных сортов был равен или близкий единице, что характеризует их как пластичные. Наибольшая его величина выявлена у сорта гороха Остинато и сорта сои Сибириада ($b_i = 1, 04$).

6. По величине гомеостатичности сорта гороха уступают сортам сои. Наибольшее значение данного показателя у гороха отмечено у сорта Остинато ($Hom = 5,06$), а у сои – у сорта Сибириада ($Hom = 2,06$). Наибольшей величиной общей адаптивной способности у гороха характеризовался сорт Остинато (2,4), а у сои – сорт Сибириада (0,8).

7. Исходя из суммы рангов величины параметров урожайности и адаптивности лучшими в условиях северной лесостепной зоны Тюменской области по предшественнику яровая пшеница в среднем за 2019–2021 гг. у гороха признан сорт Остинато (сумма рангов 11), а у сои – сорт Сибириада (сумма рангов 11).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оценка урожайности зерна новых линий гороха посевного и определение параметров их адаптивности / А.Р. Ашиев, К.Н. Хабибуллин, А.В. Чегунова, М.В. Скулова // *Зерновое хозяйство России*. – 2021. – № 4 (76). – С. 45–49.
2. Шукис С.К., Шукис Е.Р., Дробышев А.П. Биологическая особенность сортов и линий гороха посевного и их реакция на сроки посева в условиях Алтайского края // *Вестник Алтайского ГАУ*. – 2021. – № 9 (203). – С. 36–43.
3. Васякин Н.И. Зернобобовые культуры в Западной Сибири. – Новосибирск: РАСХН, Сиб. отделение, 2002. – 184 с.
4. Новый сорт зернового гороха Памяти Попова / Ф.А. Давлетов, Г.М. Нигматуллина, К.П. Гайнуллина, А.В. Плешков, Ф.Ф. Сафин // *Зерновое хозяйство России*. – 2020. – № 2 (68). – С. 61–65.
5. Темиров К.С., Салмина И.С., Доманская М.К. Урожайность и биохимические показатели селекционных линий гороха посевного различного морфотипа // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. – 2016. – № 5. – С. 21–27.
6. Water stress alters morphophysiological grain quality and vegetation indices of soybean cultivars / C.J. Tavares, W.Q. Riberio Junior, M.L.G. Ramos [et al.] // *Plants*. – 2022. – Vol. 11(4). – P. 559.
7. Зотиков В.И., Сидоренко В.С., Грядунова Н.В. Развитие производства зернобобовых культур в Российской Федерации // *Зернобобовые и крупяные культуры*. – 2018. – № 2 (26). – С. 4–10.
8. Ашиев А.Р., Хабибуллин К.Н., Скулова М.В. Агроэкологическая оценка новых линий сои селекции аграрного научного центра «Донской» // *Зерновое хозяйство России*. – 2019. – № 6 (66). – С. 7–11.
9. Петибская В.С. Соя: химический состав и использование. – Майкоп: Полиграф-Юг, 2012. – 61 с.
10. Байкунирова А.К., Григорчук Н.Ф. Результаты изучения коллекции сои в ТОО «Опытное хозяйство масличных культур» // *Вестник Алтайского ГАУ*. – 2022. – № 4 (210). – С. 5–10.
11. Genetic environmental and genotype environment interaction effects on the common bean grain yield and commercial quality / H.S. Pereira, R.C. Alvares, F.C. Silva, L.C. de Faria, L.C. Melo // *Semina: Ciencias Agrarias*. – 2017. – Vol. 38 (3). – P. 1241–1250.
12. Гончаренко А.А. Экологическая устойчивость сортов зерновых культур и задачи селекции // *Зерновое хозяйство России*. – 2016. – № 2 (44). – С. 31–36.
13. Сапега В.А. Урожайность и параметры адаптивной способности и стабильности сортов гороха // *Российская сельскохозяйственная наука*. – 2015. – № 5. – С. 14–17.
14. Сапега В.А., Митриковский А.Я. Оценка урожайного и адаптивного потенциала сортов гороха в условиях южной лесостепи Северного Зауралья // *Вестник Казанского ГАУ*. – 2020. – № 2 (58). – С. 49–52.

15. Мусинов К.К., Лихенко И.Е., Сурначев А.С. Оценка исходного материала озимой мягкой пшеницы по показателям адаптивности в условиях лесостепи Новосибирской области // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 1 (62). – С. 56–66.
16. Ашиев А.Р., Хабибуллин К.Н., Скулова М.В. Элементы структуры урожая у листочковых и усатых образцов гороха: изменчивость, взаимосвязи и перспективы их использования в селекционном процессе // Зерновое хозяйство России. – 2019. – № 3 (63). – С. 40–43.
17. Результаты и перспективы селекции гороха на устойчивость к раскрыванию бобов / А.Н. Фадеева, Е.А. Фадеев, К.Д. Шурхаева, Т.Н. Абросимова // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29, № 5. – С. 20–22.
18. Бендина Я.Б. Урожайность сои в зависимости от накопления сухой биомассы в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Аграрная Россия. – 2019. – № 4. – С. 24–28.
19. Вишнякова М.А., Сеферова И.В., Самсонова М.Г. Требования к исходному материалу для селекции сои // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – Т. 52, № 5. – С. 905–916.
20. Полушкин П.В., Зубков В.В. Сравнительная продуктивность сортов сои южного экотипа в интенсивных условиях Среднего Поволжья // Аграрная Россия. – 2019. – № 6. – С. 3–.
21. Ochgbo A.E., Bello L.L., Vange T. Genotype by environment interaction of soybean (*Glycine Max* (L.) Merrill) for yield and yield components in the savanna // Journal of agriculture and veterinary science. – 2016. – Vol. 9, Iss. 8. – P. 20–24.
22. Кашеваров Н.И., Полюдина Р.И., Потапов Д.А. Селекция сои в сибирском НИИ кормов СФНЦА РАН // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 8. – С. 28–32.
23. Выдрин В.В., Федорук Т.К. Сортовое районирование сельскохозяйственных культур и результаты сортоиспытания по Тюменской области за 2021 год. – Тюмень: Тюмен. изд. дом, 2021. – 95 с.
24. Неттевич Э.Д. Потенциал урожайности рекомендованных для возделывания в центральном регионе РФ сортов яровой пшеницы и ячменя и его реализация в условиях производства // Доклады РАСХН. – 2001. – № 3. – С. 3–6.
25. Rossielle A.A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments // Crop. Sci. – 1981. – Vol. 21, N 6. – P. 27–29.
26. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник РАСХН. – 2005. – № 6. – С. 49–53.
27. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Альянс, 2014. – 351 с.
28. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop. Sci.. – 1966. – Vol. 6, N 1. – P. 36–40.
29. Хангильдин В.В. Параметры гомеостатичности сортов и селекционных линий в испытаниях колосовых культур // Науч.-техн. бюл. Всесоюз. селекцион.-генет. ин-та. – 1986. – Вып. 2. – С. 36–41.
30. Кильчевский А.В., Хотылёва Л.В. Экологическая селекция растений. – Минск: Тэхнолoгiя, 1997. – 372 с.
31. Хангильдин В.В. О принципах моделирования сортов интенсивного типа // Генетика количественных признаков сельскохозяйственных растений. – М.: Наука, 1978. – С. 111–116.
32. Хангильдин В.В., Шаяхметов И.Ф., Мордамышин А.Г. Гомеостаз компонентов урожая зерна и предпосылки к созданию модели сорта яровой пшеницы // Генетический анализ количественных признаков растений. – Уфа: БФ АН СССР, 1979. – С. 5–39.
33. Рекашус Э.С. Современные методы оценки продуктивности и стабильности селекционных достижений (обзор) // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36, № 4. – С. 52–60.

REFERENCES

1. Ashiev A.R., Habibullin K.N., Chegunova A.V., Skulova M.V., Zernovoe hozyajstvo Rossii, 2021, No. 4 (76), pp. 45–49. (In Russ.)

2. Shukis S.K., Shukis E.R., Drobyshev A.P., Vestnik Altajskogo GAU, 2021, No. 9 (203), pp. 36–43. (In Russ.)
3. Vasyakin N.I., Zernobobovye kul'tury v Zapadnoj Sibiri (Leguminous crops in Western Siberia), Novosibirsk: RASHN, Sib. otделение, 2002, 184 p.
4. Davletov F.A., Nigmatullina G.M., Gajnullina K.P., Pleshkov A.V., Safin F.F., Zernovoe hozyajstvo Rossii, 2020, No. 2 (68), pp. 61–65. (In Russ.)
5. Temirov K.S., Salmina I.S., Domanskaya M.K., Sibirskij vestnik s.-h nauki, 2016, No. 5, pp. 21–27. (In Russ.)
6. Tavares C.J., Riberio Junior W.Q., Ramos M.L.G. [et al.], Water stress alters morphophysiological grain quality and vegetation indices of soybean cultivars, Plants, 2022, Vol. 11 (4), pp. 559.
7. Zotikov V.I., Sidorenko V.S., Gryadunova N.V., Zernobobovye i krupyanye kul'tury, 2018, No. 2 (26), pp. 4–10. (In Russ.)
8. Ashiev A.R., Habibullin K.N., Skulova M.V., Zernovoe hozyajstvo Rossii, 2019, No. 6 (66), pp. 7–11. (In Russ.)
9. Petibskaya V.S., Soya: himicheskij sostav i ispol'zovanie (Soybean: chemical composition and use), Majkop: OAO Poligraf-Yug, 2012, 61 p.
10. Bajkunirova A.K., Grigorchuk N.F., Vestnik Altajskogo GAU, 2022, No. 4 (210), pp. 5–10. (In Russ.)
11. Pereira H.S., Alvares R.C., Silva F.C., de Faria L.C., Melo L.C., Genetic environmental and genotype environment interaction effects on the common bean grain yield and commercial quality, Semina: Ciencias Agrarias, 2017, Vol. 38 (3), pp. 1241–1250.
12. Goncharenko A.A., Zernovoe hozyajstvo Rossii, 2016, No. 2 (44), pp. 31–36. (In Russ.)
13. Sapega V.A., Rossijskaya sel'skohozyajstvennaya nauka, 2015, No. 5, pp. 14–17. (In Russ.)
14. Sapega V.A., Mitrikovsky A.Ya., Vestnik Kazanskogo GAU, 2020, No. 2 (58), pp. 49–52. (In Russ.)
15. Musinov K.K., Lihenko I.E., Surnachev A.S., Vestnik NGAU, 2022, No. 1 (62), pp. 56–66. (In Russ.)
16. Ashiev A.R., Habibullin K.N., Skulova M.V., Zernovoe hozyajstvo Rossii, 2019, No. 3 (63), pp. 40–43. (In Russ.)
17. Fadeeva A.N., Fadeev E.A., Shurhaeva K.D., Abrosimova T.N., Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2015, T. 29, No. 5, pp. 20–22. (In Russ.)
18. Bendina Ya.B., Agrarnaya Rossiya, 2019, No. 4, pp. 24–28. (In Russ.)
19. Vishnyakova M.A., Seferova I.V., Samsonova M.G., Sel'skohozyajstvennaya biologiya, 2017, T. 52, No. 5, pp. 905–916. (In Russ.)
20. Polushkin P.V., Zubkov V.V., Agrarnaya Rossiya, 2019, No. 6, pp. 3–7. (In Russ.)
21. Ochgbo A.E., Bello L.L., Vange T., Genotype by environment interaction of soybean (Glycine Max (L.) Merrill) for yield and yield components in the savanna, Journal of agriculture and veterinary science, 2016, Vol. 9, Issue 8, pp. 20–24.
22. Kashevarov N.I., Polyudina R.I., Potapov D.A., Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2020, Vol. 34, No. 8, pp. 28–32. (In Russ.)
23. Vydrin V.V., Fedoruk T.K., Sortovoe rajonirovanie sel'skohozyajstvennyh kul'tur i rezul'taty sortoispytaniya po Tyumenskoj oblasti za 2021 god (Varietal zoning of crops and results of variety testing in the Tyumen region for 2021), Tyumen': Tyumenskij izdatel'skij dom, 2021, 95 p.
24. Nettevich E.D., Doklady RASHN, 2001, No. 3, pp. 3–6. (In Russ.)
25. Rossielle A.A., Hamblin J., Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments, Crop. Sci., 1981, No. 21 (6), pp. 943–946.
26. Goncharenko A.A., Vestnik RASHN, 2005, No. 6, pp. 49–53. (In Russ.)
27. Dospekhov B.A., Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij) (Field experience methodology (with the basics of statistical processing of study results), Moscow: Al'yans, 2014, 351 p. (In Russ.)
28. Eberhart S.A., Russell W.A., Stability parameters for comparing varieties, Crop. Sci., 1966, No. 6 (1), pp. 36–40.

29. Hangil'din V.V., Nauch.-tekhn. byul. Vsesoyuz. selekcion.-genet. in-ta, 1986, No. 2, pp. 36–41. (In Russ.)
30. Kil'chevskij A.V., Hotylyova L.V., Ekologicheskaya selekciya rastenij (Ecological plant breeding), Minsk: Tekhnologiya, 1997, 372 p. (In Russ.)
31. Hangil'din V.V., Genetics of quantitative signs of agricultural plants, Moscow: Nauka, 1978, pp. 111-116. (In Russ.)
32. Hangil'din V.V., Shayahmetov I.F., Mordamshin A.G., Genetic analysis of quantitative characteristics of plants, Ufa: BF AN SSSR, 1979, pp. 5–39. (In Russ.)
33. Rekashus E.S., Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2022, Vol. 36, No. 4, pp. 52–60. (In Russ.)

ВЗАИМОСВЯЗЬ УРОЖАЙНОСТИ СОРТОВ ОВСА С ОСНОВНЫМИ ПРИЗНАКАМИ В ПРИОБСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

А.Я. Сотник, кандидат сельскохозяйственных наук

Институт цитологии и генетики СО РАН, р.п. Краснообск Новосибирской обл., Россия

E-mail: sotnik@bionet.nsc.ru

Ключевые слова: густота стеблестоя, масса зерна с метелки, масса 1000 зерен.

Реферат. Представлены результаты работы по изучению взаимосвязи биологической урожайности овса с ее элементами в Приобской лесостепной зоне Новосибирской области. Опыты проведены в Сибирском научно-исследовательском институте растениеводства и селекции – филиале Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики СО РАН в 2012–2021 гг. Материалом для исследований послужили 37 сортов овса, включенных в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию по Западно-Сибирскому и Восточно-Сибирскому регионам РФ. Цель исследования – определить приоритетные элементы структуры урожая овса по группам спелости и по сортам в контрастные по метеорологическим условиям годы. Из 37 сортов 3 сорта являются ранними, 14 – среднеранними, 19 – среднеспелыми и 1 – среднепоздний. Все годы исследования распределены по средней урожайности за 10 лет на две категории: с благоприятными и неблагоприятными условиями для формирования урожайности. Установлено, что в благоприятных условиях основным элементом в формировании урожайности овса у сортов среднеранней и среднеспелой групп спелости в условиях Приобской лесостепной зоны является густота сохранившегося к уборке продуктивного стеблестоя, а в неблагоприятных условиях – продуктивность метелки. Показана корреляционная связь структурных элементов с биологической урожайностью сортов в контрастных условиях. Влияние на урожайность густоты продуктивного стеблестоя в неблагоприятных условиях показано у сортов Тубинский, Фобос, Таежник, Уран, Анчар, Мустанг и Баргузин, в благоприятных условиях – у сортов Анчар, Отрада, Корифей, Тогурчанин, Крупнозерный и Кемеровский 90. Рост урожайности сильно взаимосвязан с увеличением массы зерна с метелки в неблагоприятных условиях у сортов Тарский 2, Тубинский, Отрада, Талисман, Орион, Фобос, Баргузин, Иртыш 22, Уран, Памяти Богачкова, Алтайский крупнозерный, Нарымский 943, Пегас, а в благоприятных – у сортов Ровесник, Белозерный, Анчар. В обоих вариантах условий сильная связь отмечена у сортов Таежник, Новосибирский 88, Тулунский 19, Иртыш 21, Кемеровский 90, Корифей, Тогурчанин, Сиг, Таежник, Краснообский, Сибиряк, Байкал, Новосибирский 5, Мустанг, Иртыш 13, Тогурчанин, Крупнозерный, Сиг. Влияние на урожайность массы 1000 зерен в неблагоприятных условиях отмечено у сортов Краснообский, Сибиряк, Байкал, Анчар, Овен, Тубинский, Сиг, Орион, Корифей, Уран, Новосибирский 88, Мустанг, Тогурчанин, Отрада, Алтайский крупнозерный, Иртыш 21, Егорыч, Нарымский 943, а в благоприятных – у сортов Новосибирский 88, Креол, Иртыш 21, Белозерный, Метис, Иртыш 13.

INTERRELATIONSHIP BETWEEN YIELD OF OAT VARIETIES AND KEY TRAITS IN THE PRIOBSKAYA FOREST-STEPPE ZONE

A.Ya. Sotnik, PhD in Agricultural Sciences

Institut of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia

E-mail: sotnik@bionet.nsc.ru

Keywords: stem density, grain weight from the ear, 1000-grain weight.

Abstract. This study presents the research results on the interrelationship between biological oat yield and its components in the Priobskaya Forest-Steppe zone of the Novosibirsk region. The experiments were conducted at the Siberian Research Institute of Plant Cultivation and Breeding - a Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics SB RAS branch from 2012 to 2021. The material for the study consisted of 37 oat varieties included in the State Register of Breeding Achievements. It is approved for use in the West Siberian and East Siberian regions of the Russian Federation. The study aims to determine the priority elements of oat yield structure by ripening groups and varieties in contrasting meteorological conditions. Of the 37 types, three are early, 14 are

mid-early, 19 are mid-season, and one is mid-late. All years of the study are divided into two categories based on the average yield over ten years, with favourable and unfavourable conditions for yield formation. It has been established that the density of productive stems remaining at harvest is the main element in oat yield formation for mid-early and mid-season varieties in the Priobskaya Forest-Steppe zone under suitable conditions. Under unfavourable conditions, the productivity of the ear is crucial. The study demonstrates the correlation between structural elements and the biological yield of varieties in contrasting conditions. The influence of stem density on yield in unfavourable conditions was observed in Tubinskiy, Phobos, Tayezhnik, Uran, Anchar, Mustang, and Barguzin. In contrast, it was evident in favourable conditions in varieties like Anchar, Otrada, Korifey, Togurchanin, Krupnozerny, and Kemerovskiy 90. A strong correlation between increased grain weight from the ear and higher yields was found in unfavourable conditions for varieties like Tarskiy 2, Tubinskiy, Otrada, Talisman, Orion, Phobos, Barguzin, Irtish 22, Uran, Pamyati Bogachkova, Altayskiy Krupnozerny, Narymskiy 943, Pegas, and in favourable conditions for varieties like Rovyeshnik, Belozerny, Anchar. In both sets of states, a strong correlation was observed in types like Tayezhnik, Novosibirskiy 88, Tulunskiy 19, Irtish 21, Kemerovskiy 90, Korifey, Togurchanin, Sig, Tayezhnik, Krasnoobskiy, Sibiryak, Baykal, Novosibirskiy 5, Mustang, Irtish 13, Togurchanin, Krupnozerny, Sig. The impact of 1000-grain weight on yield was noted in unfavorable conditions for varieties like Krasnoobskiy, Sibiryak, Baykal, Anchar, Oven, Tubinskiy, Sig, Orion, Korifey, Uran, Novosibirskiy 88, Mustang, Togurchanin, Otrada, Altayskiy Krupnozerny, Irtish 21, Egorich, Narymskiy 943, and in favorable conditions for varieties like Novosibirskiy 88, Creol, Irtish 21, Belozerny, Metis, Irtish 13.

Овес имеет большое народно-хозяйственное значение, как кормовое, так и продовольственное. В Западно-Сибирском регионе Алтайский край, Омская и Новосибирская области имеют наибольшие посевные площади, занятые под овсом. Урожайность овса (как и других культур) варьирует в зависимости от изменений влаго- и теплообеспеченности во времени (по годам) [1, 2] и в пространстве (область, район) [3, 4]. Так, в Новосибирской области урожайность овса в 2020 – 2022 гг. составила 14,9; 20,6 и 19,4 ц/га [5]. Поэтому стабильное производство зерна овса, как и других сельскохозяйственных культур, по годам независимо от изменения метеорологических факторов является важнейшей проблемой [6–8]. Одним из путей решения этой проблемы является создание и использование в производстве новых сортов [9–11]. Сорт в совокупности с другими факторами влияет как на урожайность, так и на качество зерна [12, 13], которое ценится благодаря сбалансированному соотношению незаменимых аминокислот белка [14, 15].

При создании новых сортов селекционеру необходимо располагать набором сортов, различающихся по вкладу элементов в формирование урожайности в различных агроклиматических условиях. В настоящее время в Госреестр РФ включены и рекомендованы для использования по Западно-Сибирскому и Восточно-Сибирскому регионам 64 сорта овса (сибирский генофонд), абсолютное большинство из которых созданы сибирскими селекционерами [16, 17]. Эти сорта были лучшими в годы их районирования и многие из них используются в производстве и в настоящее время. Оценка сортов в контрастных условиях выращивания позволяет определить реакцию сортов при формировании урожайности в зависимости от условий среды. Рассмотрение

корреляционных взаимосвязей между биологической урожайностью и формирующими ее элементами позволяет выявить приоритетные элементы структуры урожая.

Цель исследований – определить приоритетные элементы структуры урожая овса по группам спелости и по сортам в контрастные по метеорологическим условиям годы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом для исследований являются 37 сортов овса, включенных в Госреестр (районированных) по Западно-Сибирскому (10) и Восточно-Сибирскому (11) регионам РФ [16, 17]. Исследования проводили на опытном поле СибНИИРС – филиала ФИЦ ИЦиГ СО РАН.

Определены взаимосвязи биологической урожайности сортов сибирского генофонда овса (демонстрационный питомник) за 2012–2021 гг. Агротехника при проведении опыта – общепринятая для данной зоны. Площадь делянки 1 м², срок посева – преимущественно вторая декада мая. Нормы высева – 550 всхожих семян на 1 м².

Оценка структурных элементов биологической урожайности (на учетной площади) проведена согласно методике ВИР им. Н.И.Вавилова [18]. Коэффициенты корреляции определены с использованием специальной компьютерной программы SNEDECOR V5.

Метеорологические условия, по данным метеорологической станции п. Огурцово, в годы проведения исследований значительно различались по температурному фактору и по количеству осадков. Гидротермический коэффициент (ГТК) за период май – август, показывающий соотношение количества осадков и суммы эф-

фективных температур [19], варьировал по годам от 0,59 до 3,17. Влагообеспеченность вегетационного периода в 2012 г. была очень низкая (ГТК 0,59); в 2014, 2016, 2019, 2021 гг. – недостаточная (ГТК 1,06–1,36); в 2015, 2017, и 2020 гг. – достаточная (ГТК 1,58–1,78); в 2018 г. – повышенная (ГТК 1,94); в 2013 г. – избыточная (ГТК 3,17). В 2015 г. условия характеризуются достаточной влагообеспеченностью за 4 месяца за счет превышения в 2 раза в мае и в третьей декаде июля, но во второй и третьей декадах июня осадки отсутствовали (2,6 и 0,0 мм), что привело к формированию низкой урожайности. Градация влагообеспеченности представлена по Е.К. Зоидзе, Т.В. Хомяковой [20]. Отмеченные по годам изменения показателей ГТК отражают важную климатическую особенность – абсолютную нестабильность по увлажнению и температурному фактору.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основными элементами урожайности являются густота продуктивного стеблестоя и масса зерна с метелки, которая обусловлена количеством зерен в метелке и массой 1000 зерен. Для определения особенностей формирования структурных элементов урожайности в контрастных условиях все годы исследования разделены по средней урожайности за 10 лет на две категории – с неблагоприятными и с благоприятными условиями. К годам с неблагоприятными условиями отнесены 2012, 2014–2017 гг. В эти годы недостаток влаги и высокие температуры воздуха значительно ускоряли созревание растений и отрицательно сказывались на зерновой продуктивности сортов. К годам с благоприятными условиями отнесены 2013, 2018–2021 гг. В эти годы растения были обеспечены влагой или отмечен ее избыток. Изучаемые сорта распределены по средней за 10 лет продолжительности периода «всходы – восковая спелость» по группам спелости. В группу ранних входят 3 сорта, 14 – среднеранние, 19 – среднеспелые и один сорт (Иртыш 22) является среднепоздним.

Коэффициенты корреляции между биологической урожайностью и ее элементами на базе генотипов одной группы спелости различались в зависимости от условий года и по направлению, и по виду силы взаимосвязи (табл. 1). По раннеспелой группе сортов коэффициенты корреляции определены (представлены в табл. 1), но рассмотрению не подлежат, так как выборку объектов представляют только три сорта.

Коэффициенты корреляции между биологической урожайностью и ее элементами на базе генотипов одной группы спелости различались в зависимости от условий года и по направлению, и по виду силы взаимосвязи (табл. 1). По раннеспелой группе сортов коэффициенты корреляции определены (представлены в табл. 1), но рассмотрению не подлежат, так как выборку объектов представляют только три сорта.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции урожайности с ее элементами по группам спелости
Correlation coefficients of yield with its components by ripening groups

Элемент	Годы с неблагоприятными условиями					Годы с благоприятными условиями				
	2012	2014	2015	2016	2017	2013	2018	2019	2020	2021
<i>Ранние сорта (n = 3)</i>										
ЧПС	0,36	0,94	0,68	0,83	0,90	0,99*	-0,99*	0,97	0,69	0,97
МЗМ	0,84	0,95	0,97	0,52	0,99*	0,99*	0,99*	0,66	-0,54	0,74
<i>Среднеранние сорта (n = 14)</i>										
ЧПС	-0,26	0,38	0,50	0,50	0,59*	0,58*	0,77*	0,69*	0,77*	0,80*
МЗМ	0,80*	0,80*	0,41	0,57*	0,72*	0,90*	0,60*	0,75*	0,44	0,13
МТЗ	0,01	-0,18	-0,01	0,54*	0,32	0,39	-0,07	0,21	0,42	-0,06
<i>Среднеспелые сорта (n = 19)</i>										
ЧПС	0,34	0,37	0,13	0,51*	0,57*	0,80*	0,51*	0,79*	0,61*	0,66*
МЗМ	0,85*	0,42	0,48*	0,53*	0,70*	0,82*	0,65*	0,29	0,53*	0,30
МТЗ	0,34	0,14	-0,30	-0,07	0,20	0,32	-0,13	0,09	-0,11	-0,13

Примечание. Здесь и далее: ЧПС – число продуктивных стеблей; МЗМ – масса зерна метелки; МТЗ – масса 1000 зерен.

*-достоверности на уровне значимости 5%: $r = 0,99$ (при $n = 3$), $r = 0,53$ (при $n = 14$), $r = 0,45$ (при $n = 19$).

Note. Here and below: NPS – is the number of productive stems; PGM – is panicle grain mass; MTG is the mass of 1000 grains.

*Reliability threshold at the 5% significance level $r = 0,99$ (at $n = 3$), $r = 0,53$ (at $n = 14$), $r = 0,45$ (at $n = 19$).

У среднеранних и среднеспелых генотипов отмечена значимая сильная положительная

корреляция между биологической урожайностью и числом продуктивных стеблей в годы

с благоприятными условиями. В годы с неблагоприятными условиями (проявление разной степени засухи) генотипы показали разную степень снижения густоты стеблестоя и дальнейшей компенсации их повышением урожайности за счет продуктивности метелки. В годы с благоприятными условиями корреляционные связи усиливались в связи с высокой сохранностью продуктивных стеблей у всех сортов. Приоритет густоты стеблестоя в формировании урожайности согласуется с результатами исследований В.Н. Пакуль и М.А. Козыренко в условиях Кемеровской области [21].

Продуктивность метелки положительно коррелировала с урожайностью во все годы. У среднеранних генотипов в неблагоприятных условиях 4 года наблюдалась сильная и средняя связь этих признаков и 1 год умеренная, а в благоприятные годы отмечено распределение тесноты связи от сильной до очень слабой. В группе среднеспелых генотипов в неблагоприятных условиях по всем 5 годам отмечена сильная и средняя связь этих признаков, а в благоприятные годы показатель тесноты связи признаков, так же как и у среднеранних сортов, распределялся от сильной до слабой. В обеих группах сортов (по типу спелости) в годы с проявлением засухи корреляционные связи усиливались. Отмеченная зависимость свидетельствует о том, что отбор селекционного материала по метелке наиболее эффективен в

жестких условиях развития растений. Влияние продуктивности метелки на урожайность в жестких условиях отмечалось и другими исследованиями с контрастными вариантами. В опытах М.В. Туляковой с соавторами установлено, что масса зерна с метелки значимо влияла на урожайность во все годы исследований на фоне эдафического стресса (алюмоокислые почвы), а в благоприятных почвенных условиях (на окультуренных почвах) – в 2 года из 3 [22].

Показатель массы 1000 зерен, являясь составной частью продуктивности метелки, не влиял на урожайность. Теснота связи у среднеранних и среднеспелых генотипов распределялась по годам от умеренной положительной до слабой отрицательной. Большой разброс значений коэффициента корреляции по годам связан с сортовыми особенностями в выраженности крупности зерновок и с условиями внешней среды в генеративный период развития растений, а урожайность является результатом воздействия на растение различных факторов в течение всего периода роста и развития.

Сорта, входящие в одну группу спелости, в связи с генотипическими особенностями неоднозначно реагируют на внешние факторы. Поэтому коэффициенты корреляции между урожайностью и структурными элементами у отдельных сортов значительно отличались (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты корреляции урожайности сортов с ее элементами
Correlation coefficients of yield varieties with its components

Сорт	2012–2021 гг. (n = 10)			В неблагоприятных условиях (n = 5 лет)			В благоприятных условиях (n = 5 лет)		
	ЧПС	МЗМ	МТЗ	ЧПС	МЗМ	МТЗ	ЧПС	МЗМ	МТЗ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Ранние сорта</i>									
Таежник	0,89*	0,50	0,23	0,76	0,92*	0,13	0,43	0,83	0,54
Краснообский	0,42	0,75*	0,76*	0,54	0,77	0,90*	-0,20	0,78	0,46
Сибиряк	-0,19	0,91*	0,50	-0,22	0,92*	0,91*	-0,47	0,90*	0,06
<i>Среднеранние сорта</i>									
Уран	0,54	0,77*	0,72*	0,74	0,86	0,81	-0,42	0,84	0,50
Байкал	-0,05	0,93*	0,57	-0,27	0,90*	0,92*	0,12	0,93*	0,43
Анчар	0,67*	0,57	0,82*	0,72	0,38	0,96*	0,95*	0,83	0,49
Новосибирский 5,	0,05	0,96*	0,39	-0,50	0,99*	0,36	0,15	0,95*	0,57
Новосибирский 88	-0,21	0,91*	0,75*	-0,38	0,90*	0,84	0,54	0,77	0,99*
Тарский 2	0,43	0,83*	0,14	0,23	0,88*	0,12	0,43	0,63	0,19
Тулунский 19,	0,18	0,85*	0,46	-0,03	0,93*	0,65	0,30	0,77	0,49

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Метис	0,56	0,70*	0,48	0,50	0,43	0,35	0,61	0,59	0,70
Памяти Богачкова	0,66*	0,59	0,39	0,22	0,87	0,37	0,52	0,30	0,09
Овен	0,48	0,51	0,38	0,07	0,44	0,96*	0,55	0,54	0,46
Мустанг	0,64*	0,73*	0,75*	0,70	0,72	0,86	0,48	0,77	0,56
Иртыш 13	-0,03	0,89*	0,53	0,52	0,94*	0,36	-0,67	0,90*	0,72
Тогурчанин,	0,62	0,84*	0,47	0,59	0,84	0,83	0,80	0,89*	-0,13
Крупнозерный	0,61	0,83*	0,54	0,20	0,90*	0,61	0,78	0,90*	0,45
<i>Среднеспелые сорта</i>									
Ровесник	0,61	0,83*	0,54	0,43	0,42	0,69	0,02	0,93*	0,68
Белозерный	0,25	0,89*	0,50	0,41	0,57	0,36	-0,40	0,98*	0,80
Тубинский	0,60	0,74*	0,54	0,91*	0,95*	0,95*	0,27	0,54	0,59
Сиг	0,55	0,86*	0,44	0,19	0,76	0,97*	0,68	0,89*	0,50
Отрада	0,59	0,72*	0,08	-0,39	0,88*	0,80	0,88*	0,52	0,60
Алтайский крупно- зерный	0,58	0,58	0,65*	0,64	0,79	0,73	0,57	0,43	0,57
Креол	0,31	0,90*	0,72*	0,32	0,83	0,18	0,08	0,87	0,98*
Талисман	0,36	0,83*	0,28	-0,12	0,95*	0,11	0,42	0,64	0,56
Догой	0,31	0,94*	0,22	0,31	0,99*	0,69	0,29	0,89*	-0,33
Иртыш 21	-0,36	0,91*	0,80*	-0,46	0,95*	0,79	0,09	0,82	0,98*
Кемеровский 90	0,24	0,83*	0,62	0,46	0,89*	0,63	0,79	0,71	0,58
Орион	0,25	0,82*	0,66*	0,23	0,94*	0,97*	0,56	0,28	0,66
Егорыч	0,68*	0,42	0,70*	0,66	0,50	0,86	0,53	0,19	-0,04
Нарымский 943	0,38	0,70*	0,64*	-0,03	0,73	0,84	0,68	0,62	0,63
Фобос	0,08	0,80*	0,08	-0,91*	0,98*	0,46	0,64	0,50	-0,39
Корифей	0,35	0,87*	0,77*	0,49	0,78	0,90*	0,92*	1,00*	0,68
СИР 4	0,08	0,86*	0,45	0,34	0,86	0,53	0,62	0,74	0,45
Пегас	0,35	0,87*	0,77*	0,37	0,78	0,32	0,41	0,24	0,39
Баргузин	0,60	0,83*	0,49	0,80	0,90*	0,53	0,07	0,56	-0,30
<i>Среднепоздние сорта</i>									
Иртыш 22	-0,24	0,87*	0,11	-0,21	0,97*	0,27	0,33	0,30	0,24

* Пороги достоверности на уровне 5%: $r = 0,63$ при $n = 10$; $r = 0,88$ при $n = 5$.

* Significance thresholds at 5%: $r = 0.63$ at $n = 10$; $r = 0.88$ for $n = 5$.

При рассмотрении сортовой корреляции за 10 лет абсолютное большинство сортов (35 из 37) показали значимую связь биологической урожайности с массой зерна с метелки. Достоверный показатель (r) между урожайностью и массой 1000 зерен отмечен у 15 сортов. Густота стеблестоя влияла на урожай только у 4 сортов. Это распределение показателей связи признаков обусловлено синхронной реакцией сортов (но каждый в разной степени выраженности показателей) на внешнюю среду при формировании урожайности за 10 лет.

При рассмотрении сортовой корреляции в контрастных условиях сорта показывали уже неоднозначную реакцию. Влияние на урожайность густоты продуктивного стеблестоя в группе лет с неблагоприятными условиями показано у 7 сортов, с благоприятными – у 6. В неблагоприятных условиях сильная достоверная связь между этими признаками отмечена у сортов Тубинский и Фобос ($r \geq 0,88$). Сильная связь, но показатель ниже достоверного порога ($r = 0,70-0,87$) – у сортов Таежник, Уран, Анчар, Мустанг и Баргузин. В благоприятных условиях сильное достоверное положительное влияние отмечено у сортов Анчар, Отрада и

Корифей, а сильное, но показатель ниже достоверного порога – у сортов Тогурчанин, Крупнозерный и Кемеровский 90 ($r = 0,78-0,87$). Сорта, показавшие сильную связь, но ниже достоверного порога ($r = 0,70-0,88$), тоже отмечаются, так как порог обусловлен варьированием показателей за 5 лет.

Влияние на урожайность продуктивности метелки в группе лет с неблагоприятными условиями показали 13 сортов, с благоприятными – 3, а в обеих группах (независимо от условий внешней среды) – 18 сортов. Сильное положительное влияние отмечено в неблагоприятных условиях у сортов Тарский 2, Тубинский, Отрада, Талисман, Орион, Фобос, Баргузин, Иртыш 22 ($r \geq 0,88^*$), а также у сортов Уран, Памяти Богачкова, Алтайский крупнозерный, Нарымский 943, Пегас ($r = 0,70-0,87$). В благоприятных условиях сильная связь наблюдается у сортов Ровесник, Белозерный ($r \geq 0,88^*$), а также Анчар ($r = 0,83$). В обоих вариантах условий сильная значимая связь отмечена у сортов Сибиряк, Байкал, Новосибирский 5, Иртыш 13, Крупнозерный, Догой ($r \geq 0,88^*$). Сильная связь в обоих вариантах условий ($r \geq 0,70$), но значимая только в неблагоприятных условиях ($r \geq 0,88^*$), наблюдалась у сортов Таёжник, Новосибирский 88, Тулунский 19, Иртыш 21, Кемеровский 90. Сильная связь в обоих вариантах условий ($r \geq 0,70$), но значимая только в благоприятных условиях ($r \geq 0,88^*$), характерна для сортов Корифей, Тогурчанин, Сиг. Сорта Краснообский, Мустанг, Креол и СИР-4 имели сильную связь, но показатель ниже достоверного порога в обоих вариантах ($r = 0,70-0,87$). Использование в селекции сортов, имеющих значимую связь рассмотренных признаков, повысит вероятность проявления высокой сопряженности продуктивности метелки с урожайностью у гибридного потомства.

Влияние на урожайность массы 1000 зерен в неблагоприятных условиях показали 18 сортов, а в благоприятных – 6. Такое распределение обусловлено аналогичным распределением коэффициентов корреляции между продуктивностью метелки и урожайностью. В неблагоприятных условиях сильное достоверное положительное влияние отмечено у сортов Краснообский, Сибиряк, Байкал, Анчар, Овен, Тубинский, Сиг, Орион, Корифей ($r \geq 0,88$); сильное, но недостоверное – у сортов Уран, Новосибирский 88, Мустанг, Тогурчанин, Отрада, Алтайский крупнозерный, Иртыш 21, Егорыч, Нарымский 943 ($r = 0,70-0,87$). В благоприятных условиях сильное достоверное положительное влияние отмечено у сортов Новосибирский 88, Креол и Иртыш 21 ($r \geq 0,88$),

сильное, но с показателем ниже достоверного предела ($r = 0,70-0,87$) – у сортов Белозерный, Метис и Иртыш 13.

Отсутствие синхронной реакции у разных сортов обусловлено их генотипом, что согласуется с результатами исследований М.Н. Фоминой в условиях Северного Зауралья, в которых показано, что сорта резко различались по направлению и тесноте связи урожайности с числом продуктивных стеблей, с продуктивностью метелки и с другими признаками [1]. Вышеотмеченные индивидуальные особенности формирования урожайности в зависимости от основных ее элементов согласуются с результатами, полученными в условиях северной лесостепи Тюменской области у сортов Нарымский 943 и Таёжник (с количеством растений, сохранившихся к уборке), Талисман (с массой зерна с растения), Отрада (с массой 1000 зерен) [1]. Аналогичные результаты показаны в многолетнем опыте (за 25 лет) в условиях Приобской лесостепи, где урожайность имела сильную связь с продуктивностью метелки в типичные годы у сорта Краснообский, а в годы с благоприятными условиями – у сорта Ровесник [23].

ВЫВОДЫ

1. Основным элементом в формировании урожайности овса в Приобской лесостепной зоне в благоприятных условиях является показатель густоты продуктивного стеблестоя, а в неблагоприятных условиях – продуктивность метелки.

2. Влияние на урожайность густоты продуктивного стеблестоя в неблагоприятных условиях показано у сортов Тубинский, Фобос, Таёжник, Уран, Анчар, Мустанг и Баргузин, в благоприятных – у сортов Анчар, Отрада, Корифей, Тогурчанин, Крупнозерный и Кемеровский 90.

3. Рост урожайности сильно взаимосвязан с увеличением массы зерна с метелки в неблагоприятных условиях у сортов Тарский 2, Тубинский, Отрада, Талисман, Орион, Фобос, Баргузин, Иртыш 22, Уран, Памяти Богачкова, Алтайский крупнозерный, Нарымский 943, Пегас, а в благоприятных условиях – у сортов Ровесник, Белозерный, Анчар. В обоих вариантах условий сильная связь отмечена у сортов Таёжник, Новосибирский 88, Тулунский 19, Иртыш 21, Кемеровский 90, Корифей, Тогурчанин, Сиг, Таёжник, Краснообский, Сибиряк, Байкал, Новосибирский 5, Мустанг, Иртыш 13, Тогурчанин, Крупнозерный, Сиг.

4. Влияние на урожайность массы 1000 зерен в неблагоприятных условиях отмечено у сортов Краснообский, Сибиряк, Байкал, Анчар, Овен, Тубинский, Сиг, Орион, Корифей, Уран, Новосибирский 88, Мустанг, Тогурчанин, Отрада, Алтайский крупнозерный, Иртыш 21,

Егорыч, Нарымский 943, а в благоприятных – у сортов Новосибирский 88, Креол, Иртыш 21, Белозерный, Метис и Иртыш 13.

Работа поддержана бюджетным проектом ФИЦ ИЦиГ СО РАН № FWNr-2022-0018.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фомина М.Н. Урожайность пленчатых сортов овса и особенности её формирования в условиях северной лесостепи Тюменской области // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 12. – С. 24–27.
2. Анкудович Ю.Н. Влияние климатических и агрохимических факторов на урожайность овса в условиях севера Томской области // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2015. – № 5. – С. 40–47.
3. Перспективные сорта ярового овса для возделывания в условиях полупустынной зоны Северного Прикаспия / В.А. Федорова, Н.А. Наумова, Ю.П. Тарасенкова, Д.П. Поляков // Вестник Марийского государственного университета. Серия Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2019. – Т. 5, № 3 (19). – С. 335–340. – DOI: 10.30914/2411-9687-2019-5-3-335-340.
4. Характеристика адаптивного материала сортов овса пленчатого по результатам государственного испытания в Костромской области / Г.А. Баталова, А.А. Еремина, Н.В. Кротова, Е.Н. Вологжанина, О.А. Жуйкова // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2019. – Т. 5, № 3 (19). – С. 281–289.
5. Министерство сельского хозяйства Новосибирской области: официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://mcx.nso.ru> (дата обращения: 29.09.2022).
6. Интегрированная оценка адаптивной способности образцов ячменя из коллекции ВИР в условиях Красноярской лесостепи / Н.А. Сурин, Н.Е. Ляхова, С.А. Герасимов, А.Г. Липшин // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 6. – С. 32–35.
7. Баталова Г.А. Состояние и перспективы селекции и возделывания зернофуражных культур в России // Зерновое хозяйство России. – 2011. – № 3. – С. 14–22.
8. Чекмарев П.А. Стратегия развития селекции и семеноводства в России // Земледелие. – 2011. – № 6. – С. 3–5.
9. Multivariate Analysis of Traits determining Adaptation in cultivated Barley / I. Karsai, K. Mészáros, L. Láng, [et al.] // Plant Breeding. – 2001. – No. 120 (3). – P. 217–222. – DOI: 10.1046/j.1439-0523.2001.00599.x.
10. Сайнакова А.Б., Литвинчук О.В. Оценка экологической пластичности и стабильности коллекционных образцов овса по массе 1000 зерен // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2015. – Т. 3, № 4 (64). – С. 72–74.
11. Кардашина В.Е., Николаева Л.С. Влияние метеорологических условий на продуктивность и хозяйственно-ценные признаки овса // Пермский аграрный вестник. – 2017. – № 3 (19). – С. 70–75.
12. Уровень качества зерна омских сортов овса ярового в контрастных экологических условиях / О.А. Юсова, П.Н. Николаев, В.С. Васюкевич, Н.И. Аниськов, И.В. Сафонова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 2 (55). – С. 84–96. – DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-84-96.
13. Aspects in oat breeding: nutrition quality, nakedness and disease resistance, challenges and perspectives / A. Gorash, R. Armonien, J. Mitchell Fetch [et al.] // Annals of Applied Biology. – 2017. – Vol. 78. – P. 94–103. – DOI: 10.1111/aab.12375.
14. Oats and CVD risk markers: a systematic literature review / F. Thies, L.F. Masson, P. Boffetta, P. Kris – Etherton // British Journal of Nutrition. – 2014. – Vol. 112 (Suppl 2). – P. 19–30. – DOI: 10.1017/S0007114514002281.

15. *Effects of oats on lipid profile, insulin resistance and weight loss* / J. Schuster, G. Beninca, R. Vitorazzi, S. Morelo Dal Bosco // *Nutrición Hospitalaria*. – 2015. – Vol. 32, N 5. – P. 2111–2116. – DOI: 10.3305/nh.2015.32.5.9590.
16. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию [Электронный ресурс]. – URL: <https://gossortrf.ru/gosreestr/> (дата обращения 16.02.2023).
17. Каталог сортов сельскохозяйственных культур, созданных учеными Сибири и включенных в Госреестр РФ (районированных) в 1929–2008 гг. – Новосибирск, 2009. – Вып. 4, т. 1. – 207 с.
18. Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. – СПб.: ГНУ ВИР Россельхозакадемии, 2012. – 63 с.
19. Грингоф И.Г., Попова В.В., Страшный В.Н. Агрометеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 310 с.
20. Зоидзе Е.К., Хомякова Т.В. Моделирование формирования влагообеспеченности на территории Европейской России в современных условиях и основы оценки агроклиматической безопасности // *Метеорология и гидрология*. – 2006. – № 2. – С. 98–105.
21. Пакуль В.Н., Козыренко М.А. Формирование урожайности овса в лесостепи Западной Сибири // *Достижения науки и техники АПК*. – 2009. – Т. 30, № 9. – С. 14–15.
22. Исходный материал овса пленчатого для селекции на урожайность / М.В. Тулякова, Г.А. Баталова, С.В. Пермякова, Н.В. Кротова // *Достижения науки и техники АПК*. – 2019. – Т. 33, № 7. – С. 9–12. – DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10702.
23. Сотник А.Я., Лоскутов И.Г. Селекционно-ценные образцы овса с оптимальным сочетанием элементов урожайности для Приобской лесостепи // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. – 2021. – Т. 51, № 4. – С. 5–13. – DOI: 10.26898/0370-8799-2021-4-1.

REFERENCES

1. Fomina M.N., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2016, Vol. 30, No. 12, pp. 24–27. (In Russ.)
2. Ankudovich Yu.N., *Sibirskii vestnik sel'skhozaistvennoi nauki*, 2015, No. 5, pp. 40–47. (In Russ.)
3. Fedorova V.A., Naumova N.A., Tarasenkova Yu.P., Polyakov D.P., *Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Sel'skhozajstvennye nauki. Jekonomicheskie nauki*, 2019, Vol. 5, No. 3 (19), pp. 335–340, DOI: 10.30914/2411-9687-2019-5-3-335-340. (In Russ.)
4. Batalova G.A., Eremina A.A., Krotova N.V., Vologzhanina E.N., Zhuikova O.A., *Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Sel'skhozajstvennye nauki. Jekonomicheskie nauki*, 2019, Vol. 5, No. 3 (19), pp. 281–289. (In Russ.)
5. Ministerstvo sel'skogo hozjajstva Novosibirskoj oblasti (Ministry of Agriculture of the Novosibirsk Region) [Electronic resource]: <https://mcx.nso.ru> (Accessed 09/29/2022).
6. Surin N.A., Lyakhova N.E., Gerasimov S.A., Lipshin A.G., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2016, Vol. 30, No. 6, pp. 32–35. (In Russ.)
7. Batalova G.A., *Zernovoe khozyaistvo Rossii*, 2011, No. 3, pp. 14–22. (In Russ.)
8. Chekmarev P.A., *Zemledelie*, 2011, No. 6, pp. 3–5. (In Russ.)
9. Karsai I., Mészáros K., Láng L., Hayes P.M., Bedő Z., *Multivariate Analysis of Traits determining Adaptation in cultivated Barley, Plant Breeding*, 2001, No. 120 (3), pp. 217–222, DOI: 10.1046/j.1439-0523.2001.00599.x.
10. Sainakova A.B., Litvinchuk O.V., *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo Universiteta*, 2015, Vol. 3, No. 4 (64), pp. 72–74. (In Russ.)
11. Kardashina V.E., Nikolaeva L.S., *Permskii agrarnyi vestnik*, 2017, No. 3 (19), pp. 70–75. (In Russ.)
12. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Vasyukevich V.S., Aniskov N.I., Safonova I.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2020, No. 2 (55), pp. 84–96, DOI:10.31677/2072-6724-2020-55-2-84-96. (In Russ.)

13. Gorash A., Armonien R., Mitchell Fetch J., Liatukas Z., Danyte V., Aspekts in oat breeding: nutrition quality, nakedness and disease resistance, challenges and perspectives, *Annals of Applied Biology*, 2017, Vol. 78, pp. 94–103. DOI: 10.1111/aab.12375.
14. Thies F., Masson L.F., Boffetta P., Kris-Etherton P., Oats and CVD risk markers: a systematic literature review, *British Journal of Nutrition*, 2014, Vol. 112, Suppl. (2), pp. 19–30, DOI: 10.1017/S0007114514002281.
15. Schuster J., Beninca G., Vitorazzi R., Morelo Dal Bosco S., Effects of oats on lipid profile, insulin resistance and weight loss, *Nutrición Hospitalaria*, 2015, vol. 32, no. 5, pp. 2111–2116, DOI: 10.3305/nh.2015.32.5.9590.
16. Gosudarstvennyj reestr selekcionnyh dostizhenij, dopushhennyh k ispol'zovaniju (State Register of Breeding Achievements Approved for Use) [Electronic resource]: <https://gossortrf.ru/gos-reestr/> (Accessed 16.02.2023).
17. Katalog sortov sel'skhozajstvennyh kul'tur, sozdannyh uchenymi Sibiri i vkluchennyh v Gos-reestr RF (rajonirovannyh) v 1929–2008 gg. (Catalog of crop varieties created by Siberian scientists and included in the State Register of the Russian Federation (zoned) in 1929–2008), Issue. 4, Vol. 1, 207 p.
18. Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V., Metodicheskie ukazaniya po izucheniju i sohraneniju mirovoj kollekcii jachmenja i ovsa (Guidelines for the study and conservation of the world collection of barley and oats), Sankt-Peterburg: GNU VIR Russian Agricultural Academy, 2012, 63 p.
19. Gringof I.G., Popova V.V., Strashny V.N., Agrometeorologija (Agrometeorology), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987, 310 p.
20. Zoidze E.K., Khomyakova T.V., Meteorologija i gidrologija, 2006, No. 2, pp. 98–105. (In Russ.)
21. Pakul V.N., Kozyrenko M.A., Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2009, V. 30, No. 9, pp. 14–15. (In Russ.)
22. Tulyakova M.V., Batalova G.A., Permyakova S.V. [et al.], Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2019, Vol. 33, No. 7, pp. 9–12, DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10702. (In Russ.)
23. Sotnik A.Ya., Loskutov I.G., Sibirskii vestnik sel'skhozaistvennoi nauki, 2021, Vol. 51, No. 4, pp. 5–13, DOI: 10.26898/0370-8799-2021-4-1. (In Russ.)

КОЛОНИЗАЦИЯ ПОЧВЕННЫМИ ФИТОПАТОГЕНАМИ КОЛОСЬЕВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

^{1,2}Е.Ю. Торопова, доктор биологических наук, профессор

^{1,2}М.П. Селюк, кандидат биологических наук, доцент

³Г.Я. Стецов, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

¹Р.И. Трунов, аспирант

¹Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, р.п. Большие Вяземы Московской обл., Россия

³Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия

E-mail: 89139148962@yandex.ru

Ключевые слова: яровая пшеница, сорт, колос, фитопатоген, колонизация, зерновка, *B. sorokiniana*, *Fusarium* spp., *Alternaria* spp.

Реферат. Цель исследований состояла в оценке влияния сортов и условий года на колонизацию колосьев яровой пшеницы фитопатогенами. В задачи исследования входило уточнение механизмов и сроков колонизации фитопатогенами колосьев яровой пшеницы, установление приуроченности таксономических групп и видов микромицетов к различным по строению генеративным органам, выявление влияния сортов и условий года на колонизацию генеративных органов микромицетами. Исследования проводили в 2021–2022 гг. в северной лесостепи Приобья на 10 сортах яровой пшеницы из различных регионов Российской Федерации и стран мира по общепринятым методикам. Из двух лет экспериментов 2021 г. был относительно увлажненным (ГТК августа 1,2), 2022 г. – засушливым (ГТК августа 0,45). В годы исследований микоченоз генеративных органов сортов яровой пшеницы был представлен *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem., грибами родов *Fusarium* Link. и *Alternaria* Nees., однако представленность таксонов значительно различалась по годам, сортам и органам колосьев. Данные динамики колонизации генеративных органов сортов яровой пшеницы микромицетами говорят о раннем инфицировании стержней зачатков колосьев грибами рода *Fusarium* (фаза выхода в трубку) и *B. sorokiniana* (фаза стеблевания), что свидетельствует о способности этих микромицетов к заражению колосьев по сосудам и воздушно-капельным путем. Исследования коллекции не позволили выявить сортов, устойчивых к инфицированию генеративных органов *B. sorokiniana* и грибами родов *Fusarium* и *Alternaria*. Выявлена приуроченность *B. sorokiniana* к инфицированию стержней колосьев по сравнению с зерновками и усиление колонизации колосьев фитопатогеном в более увлажненных условиях. *B. sorokiniana* доминировал на стержнях колосьев в оба года исследований, на зерновках – в более влажном 2021 г. Грибы рода *Fusarium* уступали *B. sorokiniana* по активности колонизации генеративных органов как в засушливых, так и в увлажненных условиях, они были больше приурочены к стержням колосьев, инфицирование которых практически не зависело от условий года, в отличие от колонизации зерновок, которая на 22,5% зависела от условий года и была в засушливых условиях в 1,9 раза ниже в среднем по сортам. Грибы рода *Alternaria* имели приуроченность к зерновкам сортов яровой пшеницы по сравнению со стержнями колосьев, колонизируя их более успешно в засушливых условиях, неблагоприятных для влаголюбивых фитопатогенов из родов *Fusarium* и *B. sorokiniana*. Они доминировали на зерновках всех сортов коллекции в засушливом 2022 г.

COLONISATION OF SPRING WHEAT SPIKELETS BY SOIL PHYTOPATHOGENS IN THE WESTERN SIBERIAN FOREST-STEPPE

^{1,2}E.Yu. Toropova, Doctor of Biological Sciences, Professor

^{1,2}M.P. Selyuk, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

³G.Ya. Stetsov, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher

¹R.I. Trunov, PhD Student

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

²All-Russian Research Institute of Plant Protection, Bolshiye Vyazemy settlement, Moscow Region, Russia

³Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnologies, Barnaul, Russia

E-mail: 89139148962@yandex.ru

Keywords: spring wheat, variety, spike, phytopathogen, colonisation, grain, *B. sorokiniana*, *Fusarium* spp., *Alternaria* spp.

Abstract. The research aimed to assess the influence of varieties and yearly conditions on phytopathogens' colonisation of spring wheat spikes. The study tasks included specifying the mechanisms and timing of colonisation by phytopathogens, determining the taxonomy of microfungi groups and species related to various generative organs, and identifying the impact of varieties and yearly conditions on microfungi colonisation of generative organs. The research was conducted in 2021-2022 in the northern forest steppe of the Ob region on ten spring wheat varieties from various areas of Russia and the world, using standard methodologies. Of the two experimental years, 2021 was relatively humid (GTU August 1.2), while 2022 was dry (GTU August 0.45). In the research years, the mycobiota of generative organs of spring wheat varieties consisted of *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem, fungi of the *Fusarium* Link genus, and *Alternaria* Nees. However, the taxon representation significantly differed between years, varieties, and spike organs. The dynamics of colonisation of generative organs of spring wheat varieties by microfungi suggest early infestation of spikelet peduncles by *Fusarium* fungi (tubular stage) and *B. sorokiniana* (stem elongation stage). It indicates the ability of these microfungi to infect spikes through vessels and by airborne-droplet transmission. The study of the collection did not reveal varieties resistant to the infestation of generative organs by *B. sorokiniana* and *Fusarium* and *Alternaria* fungi. *B. sorokiniana* preferred infesting spikelet peduncles over grains and increased spike colonisation in wetter conditions. *B. sorokiniana* dominated on spike peduncles in both years of the study and on grains in the wetter 2021. *Fusarium* fungi demonstrated lower colonisation activity of generative organs in dry and wet conditions, with a higher affinity for spikelet peduncles, which was less dependent on the yearly conditions. In contrast, the colonisation of grains depended on yearly conditions and was 1.9 times lower on average across varieties in dry conditions. *Alternaria* fungi preferred colonising grains over spikelet peduncles in spring wheat varieties. They were more successful in dry conditions, unfavourable for moisture-loving phytopathogens from the *Fusarium* and *B. sorokiniana* genera. They dominated on grains of all collection varieties in the dry 2022.

Сообщество вредных организмов яровой пшеницы в северной лесостепи Приобья Западной Сибири насчитывает более 40 распространённых видовых популяций [1–3]. Возрастание суровости и изменчивости климата сопровождается уменьшением видового разнообразия, биомассы и упрощением строения сообществ. При этом относительная роль биотических факторов (враги, паразиты, конкуренты) падает, и на первый план выступают абиотические условия, прямо или косвенно определяющие исход взаимоотношений в сообществах и реализацию экологических ниш консортов [3–5].

Возбудители корневых, или почвенных, инфекций имеют в качестве основной экологической ниши подземные органы растений, а в качестве фактора передачи во времени – почву, где они могут в течение длительного времени выживать в форме покоящихся структур. Так, все грибы рода *Fusarium* Link., возбудители фузариозных корневых гнилей и увяданий сельскохозяйственных культур, являются почвенными микромицетами и способны длительное время, до 15 лет, сохраняться в почве в форме хламидоспор, склероциев и других покоящихся структур, формируя долговременные стационарные очаги [6, 7]. *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem., возбудитель обыкновенной корневой гнили злаков, сохраняется в почве в форме конидий, хламидоспор и ми-

целия 5–7 лет [6, 8]. Однако, кроме передачи через почву, возбудители корневых инфекций могут передаваться из года в год дополнительно через семена и посадочный материал, а в течение вегетации – воздушными течениями и каплями дождя [6, 7, 9].

Экологические ниши фитопатогенных грибов *B. sorokiniana* и рода *Fusarium* включают не только подземные органы растений, но и генеративные органы, которые они заражают при благоприятных гидротермических условиях. Фитопатогены могут сохраняться в зерновках до 7 лет, что расширяет почвенные очаги и способствует формированию новых при высеве инфицированных семян [10]. Колонизируя колос, *B. sorokiniana* вызывает черноту зародыша зерна, снижая технологические параметры зерна и муки, резко ухудшает посевные качества семян зерновых культур, изреживая посевы и угнетая рост растений [6].

Микромицет продуцирует токсины гельминтоспорол, гельминтоспорал, вик-токсин, цитокинин, опасные для здоровья людей и животных. Фузариевые грибы, кроме снижения технологических и посевных качеств зерна, колонизируя колос, могут продуцировать 148 токсических соединений, крайне опасных для здоровья человека и животных [4, 11, 12]. Многие виды *Fusarium*, поражающие зерновые культуры, продуцируют фузариотоксины дезоксиниваленол (ДОН), ниваленол (НИВ),

зеараленон (ЗЕА), Т-2-токсин, а также фумонизины, индуцирующие онкологические заболевания [11, 12]. Фузариотоксины обладают нефратоксичными, иммуносупрессивными и канцерогенными свойствами [11–13].

Грибы рода *Alternaria* Nees. имеют повсеместное распространение и характеризуются существенными различиями по патогенности и вредоносности на сельскохозяйственных культурах [14]. На яровой пшенице они являются возбудителями черноты зародыша зерна и могут вызывать изреживание посевов, угнетение всходов, снижение технологических качеств зерна [15, 16].

Интенсивность заражения колоса микромицетами определяется рядом абиотических и биотических факторов, среди которых существенную роль играют сортовые особенности культуры, фитосанитарное состояние почвы, конкуренция с другими фитопатогенами, погодные условия [6, 9, 14]. Практическая селекция на устойчивость к почвенным фитопатогенам осложняется комплексным характером инфицирования растений возбудителями гельминтоспориоза и фузариоза колоса, что заставляет искать новые подходы, основанные на понимании молекулярно-генетических механизмов устойчивости [17]. Установлено, например, что наиболее эффективным методом создания сортов, резистентных к фузариозу колоса, является сложная ступенчатая гибридизация, направленная на пирамидирование генов специфической и неспецифической устойчивости [18]. Распространению и развитию фитопатогенов на колосьях яровой пшеницы способствовали высокие температуры в последней декаде июля и в августе, превышающие средние многолетние данные на 3–5°C, а также обильные осадки августа. Коэффициенты корреляции степени инфицирования зерновок пшеницы грибами рода *Fusarium* и суммы осадков за август составили $r = 0,721–0,869$, тот же показатель по *B. sorokiniana* равен $0,732–0,916$ [2, 9]. Более ранняя колонизация генеративных органов фитопатогенами повышает их вредоносность, сильнее снижая посевные качества семян, поскольку фитопатогены поражают зародыши семян [9].

Цель работы состояла в оценке влияния сортов и условий года на колонизацию колосьев яровой пшеницы фитопатогенами.

Задачи исследования:

1. Уточнить механизмы и сроки колонизации фитопатогенами колосьев яровой пшеницы.

2. Установить приуроченность таксономических групп и видов микромицетов к различным генеративным органам.

3. Выявить влияние сортов и условий года на колонизацию генеративных органов микромицетами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2021–2022 гг. на опытном поле, расположенном в северной лесостепи Приобья (Новосибирский район Новосибирской области). Были высеяны сорта из коллекции яровой пшеницы ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН (лаборатория генофонда растений) из различных регионов Российской Федерации и стран мира, в общей сложности 10 сортов: Сибирская 17 (Новосибирская область), Зауралочка (Урал), LT-3 (Ленинградская область), Jin Chun 2 (Китай), K-65834 (Таджикистан), Remus (Германия), Quarna (Швейцария), Manu (Финляндия), NIL Thatcher Lr13 (Канада), Karee (ЮАР). Работа осуществлялась в рамках бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН № 0259-2023-0018. Площадь под каждым сортом 2 м², повторность трехкратная. Предшественник – пар. Почва – выщелоченный чернозем. В июне, июле и августе были отобраны колосья по 5 фазам развития яровой пшеницы: начало выхода в трубку (IV этап органогенеза), выход в трубку – начало стеблевания (VII этап), цветение (IX этап), налив зерна, молочная спелость (XI этап), полная спелость (XII этап). С каждого сорта на каждой фазе были отобраны по 30 колосьев (по 10 с каждой повторности).

Гидротермические условия вегетации лет исследований характеризовались неустойчивым увлажнением и влияли на развитие фузариозно-гельминтоспориозной инфекции яровой пшеницы как на подземных, так и на надземных органах. В 2021 г. особенно засушливыми были май и июль, в 2022 г. – май и август. Влажные условия августа 2021 г. (ГТК 1,20) способствовали воздушно-капельной передаче фитопатогенов на колосья [6]. Засушливые условия августа 2022 г. (ГТК 0,45) ограничивали колонизацию микромицетами надземных органов яровой пшеницы воздушно-капельным путем.

Микологический анализ генеративных органов растений проводили на стандартных питательных средах в 3–5 повторностях общепринятыми методами [19]. Для идентификации фузариумов использовали определители [20].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика колонизации колосьев сортов яровой пшеницы фитопатогенами показана в табл. 1.

Данные таблицы свидетельствуют о ранней колонизации колосьев почвенными фитопатогенами. Из стержней зачатков колосьев сортов Jin Chun 2 и Karee уже на IV этапе органогенеза были выделены *F. роае*, *F. oxysporum*, *F. sporotrichioides*, что указывает на их способность к продвижению по сосудам растений и раннему заражению колосьев. В начале выхода в трубку (VII этап органогенеза) эти фитопатогены были выделены из стержней колосьев уже 7 сортов и из зачатков зерен трех сортов. Следует отметить, что *B. sorokiniana* был также выделен из стержней колосьев сорта Зауралочка из Курганской области и канадского сорта Nill Thatcer Lr-35 до выхода колосьев из

трубки (IV–VII этапы органогенеза), что также может свидетельствовать о способности этого микромицета к росту по сосудам растений яровой пшеницы, чего ранее не отмечали в литературе. Массовая колонизация колосьев началась в фазу молочной спелости зерна, причем стержень колоса был инфицирован фитопатогенами сильнее зерновых зачатков. В фазе цветения разница в инфицировании стержней и зерен составляла у *B. sorokiniana* 24,8 раза, у грибов рода *Fusarium* – 2,4, у грибов рода *Alternaria* – 19,4 раза. После фазы молочной спелости началась активная реализация экологических ниш всеми микромицетами, и к концу вегетации колосья всех сортов были колонизированы ими на 100%.

Степень колонизации колосьев коллекции сортов яровой пшеницы *B. sorokiniana* в конце вегетации показана в табл. 2.

Таблица 1

Динамика колонизации микромицетами органов колосьев 10 сортов яровой пшеницы по фазам развития, %

Dynamics of microfungi colonisation of spring wheat spike organs by development phases, %

Вариант	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	<i>Fusarium</i> spp.	<i>Alternaria</i> spp.
Выход в трубку (IV этап органогенеза)			
Стержень колоса	0,3	0,8	0
Цветок	0	0	0
Начало стеблевания (VII этап)			
Стержень колоса	0,9	1,9	0
Цветок	0	1,2	0
Цветение (IX этап)			
Стержень колоса	14,9	18,8	23,3
Зачаток зерна	0,6	7,9	1,2
Молочная спелость (XI этап)			
Стержень колоса	23,9	23,9	21,8
Зерно	10,3	17,0	9,1

Таблица 2

Инфицированность генеративных органов яровой пшеницы *B. sorokiniana* по сортам и годам, %
Infestation of generative organs of spring wheat varieties by *B. sorokiniana* by types and years, %

Сорт	2021 г.		2022 г.	
	стержень колоса	зерновка	стержень колоса	зерновка
1	2	3	4	5
Сибирская 17	63,3	20,0	30,0	33,3
Зауралочка	63,3	60,0	66,7	26,7
LT-3	63,3	33,3	50,0	30,0
Jin Chun 2	86,7	24,4	46,7	33,3
Remus	43,3	46,7	36,7	20,0
Quarna	70,0	33,3	60,0	13,3

1	2	3	4	5
Nill Thatcher Lr-35	56,7	33,3	33,3	23,3
Karee	86,7	20,0	66,7	30,0
Manu	40,0	32,3	73,3	46,7
K-65834	66,7	66,8	70,0	30,0
Среднее по сортам	64,0	37,0	53,3	28,7
НСР ₀₅ частных средних	9,15	7,21	8,38	4,96

Данные таблицы свидетельствуют, что *B. sorokiniana* доминировал на стержнях колосьев большинства сортов коллекции яровой пшеницы в оба года исследований. Разница между сортами по распространенности *B. sorokiniana* на стержнях колосьев составила в 2021 г. 2,2 раза, в 2022 г. – 2,4 раза. Стержни колосьев были колонизированы *B. sorokiniana* в более влажном 2021 г. на 16,7% сильнее, чем в засушливом 2022 г., в среднем по сортам. В относительно увлажненном 2021 г. самыми инфицированными возбудителем обыкновенной корневой гнили были стержни колосьев китайского сорта Jin Chun 2, а наименее инфицированными – финского сорта Manu. В засушливом 2022 г. ситуация изменилась – наиболее инфицированными *B. sorokiniana* стержни колосьев были у финского сорта Manu, а наименее инфицированными – канадского сорта Nill Thatcher Lr-35. Дисперсионный анализ показал, что сила влияния сортов на инфицированность стержней колосьев *B. sorokiniana* составила 20%, а сила влияния года – 24% при достоверности на 5%-м уровне значимости.

Зерновки сортов яровой пшеницы были инфицированы *B. sorokiniana* ниже, чем стержни колосьев, в оба года исследований, в 2021 г. – в 1,7 раза, в 2022 г. – в 1,9 раза в среднем по

сортам. В 2021 г. самыми инфицированными возбудителем были зерновки таджикского сорта K-65834, а наименее инфицированными – зерновки Сибирской 17 из Новосибирской области и южноафриканского сорта Karee. В засушливом 2022 г. среднее инфицирование зерновок сортов снизилось на 22,4% по сравнению с 2021 г. Наименее инфицированным был швейцарский сорт Quarna, а самыми зараженными *B. sorokiniana* были зерновки финского сорта Manu. Достоверного влияния сортов на инфицирование зерновок *B. sorokiniana* выявлено не было, а сила влияния года была небольшой – 14%, но достоверной на 5%-м уровне значимости.

Таким образом, двухлетние исследования коллекции из 10 сортов яровой пшеницы не позволили выявить устойчивых к инфицированию генеративных органов *B. sorokiniana* форм. Была выявлена приуроченность *B. sorokiniana* к инфицированию стержней колосьев по сравнению с зерновками и усиление колонизации колосьев фитопатогеном в более увлажненных условиях, что подтверждает ранее опубликованные данные [21].

Результаты учетов грибов рода *Fusarium* на генеративных органах сортов яровой пшеницы приведены в табл. 3.

Таблица 3

Инфицированность колосьев яровой пшеницы грибами рода *Fusarium* по сортам и годам, %Infestation of spring wheat spikelets by *Fusarium* Fungi by varieties and years, %

Сорт	2021 г.		2022 г.	
	стержень колоса	зерновка	стержень колоса	зерновка
1	2	3	4	5
Сибирская 17	36,7	36,7	36,7	3,3
Зауралочка	26,7	36,7	26,7	3,3
LT-3	26,7	13,3	33,3	6,6
Jin Chun 2	16,7	2,3	40,0	20,0
Remus	33,3	3,3	26,7	20,0
Quarna	30,0	16,7	30,0	13,3
Nill Thatcher Lr-35	26,6	20,0	33,3	20,0
Karee	20,0	70,0	10,0	16,6
Manu	20,0	5,5	10,0	10,0

1	2	3	4	5
K-65834	30,0	33,2	26,7	13,3
Среднее по сортам	26,7	23,8	27,3	12,6
НСР ₀₅ частных средних	5,14	4,86	4,92	3,66

Данные таблицы свидетельствуют, что грибы рода *Fusarium* колонизировали генеративные органы сортов яровой пшеницы менее интенсивно по сравнению с *B. sorokiniana*. Так, инфицирование фузариями стержней колосьев было в 2021 г. в 2,4 раза, а в 2022 г. – в 2,0 раза ниже, чем *B. sorokiniana* в среднем по сортам. Колонизация зерновок пшеницы грибами рода *Fusarium* в 2021 г. была в 1,6 раза, а в 2022 г. – в 2,3 раза ниже, чем *B. sorokiniana*. Не выявлено ни одного сорта, генеративные органы которого инфицировались бы фузариевыми грибами сильнее, чем *B. sorokiniana*. В относительно увлажненном 2021 г. грибы рода *Fusarium* колонизировали стержни колосьев и зерновки по-разному, в зависимости от сорта. Так, у финского сорта Ману стержни колосьев были инфицированы фузариями сильнее зерновок в 3,6 раза, у китайского сорта Jin Chun 2 – в 7,2, а у немецкого сорта Remus – в 10,1 раза. Напротив, у южноафриканского сорта Karee зерновки были инфицированы фузариями в 3,5 раза сильнее, чем стержни колосьев. У этого сорта в 2021 г. было отмечено самое сильное среди всех сортов (70%) за два года учетов инфицирование зерновок грибами

рода *Fusarium*, среди которых доминировал *F. oxysporum* Schltdl.

Заслуживает внимание тот факт, что инфицирование фузариями стержней колосьев не зависело от условий года, что, возможно, связано с инфицированием этих генеративных органов по сосудам растений. Напротив, инфицирование зерновок грибами рода *Fusarium* на 22,5% определялось условиями года и было на 47,1% ниже в засушливом 2022 г. по сравнению с 2021 г. В 2022 г. разница в колонизации фузариями стержней колосьев и зерновок в среднем по сортам составила 2,2 раза, достигая у сорта Зауралочка из Курганской области 8,1, а у сорта Сибирская 17 – 11,1 раза.

Таким образом, грибы рода *Fusarium* уступали *B. sorokiniana* по активности колонизации генеративных органов как в засушливых, так и в увлажненных условиях. Они были больше приурочены к стержням колосьев, инфицирование которых практически не зависело от условий года, в отличие от колонизации зерновок, которая была в засушливых условиях в 1,9 раза ниже в среднем по сортам.

Результаты учетов грибов рода *Alternaria* на генеративных органах сортов яровой пшеницы показаны в табл. 4.

Таблица 4

Заселенность колосьев яровой пшеницы грибами рода *Alternaria* по сортам и годам, %
Spike colonisation by *Alternaria* Fungi in spring wheat varieties by varieties and years, %

Сорт	2021 г.		2022 г.	
	стержень колоса	зерновка	стержень колоса	зерновка
Сибирская 17	10,0	43,3	30,0	53,4
Зауралочка	13,3	3,3	6,6	70,0
LT-3	23,3	53,4	16,7	63,4
Jin Chun 2	0	73,3	20,0	46,7
Remus	26,7	50,0	36,6	60,0
Quarna	3,3	50,0	10,0	73,4
Nill Thatcher Lr-35	16,7	46,7	30,0	56,7
Karee	0	10,0	23,3	54,0
Manu	40,0	62,2	16,7	43,3
K-65834	6,7	0	3,3	56,7
Среднее по сортам	15,5	39,2	19,3	57,8
НСР ₀₅ частных средних	2,13	7,92	3,25	9,91

Грибы рода *Alternaria* являются сухоспорными, т. е. они не нуждаются во влаге для

перемещения в пространстве, а разносятся воздушными течениями [6, 14, 15]. Кроме того, в

литературе нет сведений о распространении этих микромицетов по сосудам растений, по-видимому, эта способность у альтернариевых грибов отсутствует. Данные биологические особенности определили степень колонизации генеративных органов сортов яровой пшеницы грибами рода *Alternaria*. В умеренно увлажненном 2021 г. были выявлены сорта яровой пшеницы, на стержнях колосьев которых альтернариевые грибы полностью отсутствовали. В более засушливом 2022 г. грибы рода *Alternaria* колонизировали стержни колосьев всех сортов коллекции, причем в среднем по сортам их представленность в микоценозах стержней колосьев была на 19,7% выше, чем в 2021 г. В целом микромицеты из рода *Alternaria* менее успешно колонизировали стержни колосьев в оба года исследований по сравнению как с грибами рода *Fusarium* (в 1,6 раза), так и с *B. sorokiniana* (в 3,4 раза) в среднем по сортам и годам.

Что касается колонизации зерновок сортов яровой пшеницы, то в увлажненном 2021 г. альтернариевые микромицеты не были выявлены только на одном сорте – К-65834 из Таджикистана. В среднем по сортам зерновки были колонизированы грибами рода *Alternaria* сильнее, чем фузариевыми микромицетами, на 39,3% и примерно на уровне *B. sorokiniana*. В засушливом 2022 г., когда влаголюбивые фитопатогены менее активно колонизировали зерновки яровой пшеницы воздушно-капельным путем, альтернариевые грибы получили преимущества для заселения зерновок, их количество в микоценозах возросло в среднем по сортам на 32%. Они были представлены на зерновках сортов в два раза выше, чем *B. sorokiniana*, и в 4,6 раза выше грибов рода *Fusarium*. Дисперсионный анализ показал, что колонизация зерновок грибами рода *Alternaria* определяется условиями года на 21,8% при достоверности на 5%-м уровне значимости.

Таким образом, грибы рода *Alternaria* имели приуроченность к зерновкам сортов яровой пшеницы, по сравнению со стержнями колосьев, колонизируя их более успешно в засуш-

ливых условиях, неблагоприятных для влаголюбивых фитопатогенов из родов *Fusarium* и *B. sorokiniana*.

ВЫВОДЫ

1. В годы исследований микоценоз генеративных органов 10 сортов яровой пшеницы из различных регионов РФ и мира был представлен *B. sorokiniana*, грибами родов *Fusarium* и *Alternaria*, однако представленность таксонов значительно различалась по годам, сортам и органам колосьев.

2. Данные динамики колонизации генеративных органов сортов яровой пшеницы микромицетами свидетельствуют о раннем инфицировании стержней зачатков колосьев грибами рода *Fusarium* (фаза выхода в трубку) и *B. sorokiniana* (фаза стеблевания), что свидетельствует о способности этих микромицетов к заражению колосьев по сосудам и воздушно-капельным путем.

3. Выявлена приуроченность *B. sorokiniana* к инфицированию стержней колосьев, по сравнению с зерновками и усиление колонизации колосьев фитопатогеном в более увлажненных условиях.

4. Грибы рода *Fusarium* уступали *B. sorokiniana* по активности колонизации генеративных органов как в засушливых, так и в увлажненных условиях, они были больше приурочены к стержням колосьев, инфицирование которых практически не зависело от условий года, в отличие от колонизации зерновок, которая была в засушливых условиях в 1,9 раза ниже в среднем по сортам.

5. Грибы рода *Alternaria* имели большую приуроченность к зерновкам сортов яровой пшеницы по сравнению со стержнями колосьев, колонизируя их более успешно в засушливых условиях, неблагоприятных для влаголюбивых фитопатогенов из родов *Fusarium* и *B. sorokiniana*.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 22-26-00066.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Торопова Е.Ю., Кириченко А.А., Стецов Г.Я. Защита всходов яровой пшеницы в Сибири // Защита и карантин растений. – 2023. – №2. – С. 20–28. – DOI 10.47528/1026-8634_2023_2_20.
2. Торопова Е.Ю., Кириченко А.А., Стецов Г.Я. Как повысить озерненность колоса и массу 1000 зерен яровой пшеницы // Защита и карантин растений. – 2023. – № 3. – С. 16–25. – DOI: 10.47528/1026-8634_2023_3_16.
3. Популяционные исследования грибов - возбудителей болезней зерновых культур / М.М. Левитин, О.С. Афанасенко, Т.Ю. Гагкаева, Ф.Б. Ганнибал, Е.И. Гульятеева, Н.В. Мироненко // Вестник защиты растений. – 2019. – № 4 (102). – С. 5–16.

4. Левитин М.М. Микроорганизмы в условиях глобального изменения климата // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50, № 5. – С. 641–647.
5. *The micromycetae* composition of the soil under the crops of a summer grain cultures and a specificity of *Bipolaris sorokiniana* and *Fusarium* spp. strains / V.V. Lapina, N.V. Smolin, A.V. Ivoilov [et al.] / Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – Vol. 7, № 4. – P. 1804–1810.
6. Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я., Чулкина В.А. Эпифитотиология / под ред. М.С. Соколова, В.А. Чулкиной. – Новосибирск, 2011. – 711 с.
7. Vorob'eva I., Toropova E. Fungi ecological niches of the genus *Fusarium* Link // International Conferences “Plant Diversity: Status, Trends, Conservation Concept” 2020/ BIO Web of Conferences 24. 00095 (2020). – <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202400095>.
8. *The conidia* *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem. distribution in the soil of Altai and Kazakhstan arid regions / E.Yu. Toropova, A.P. Glinushkin, M.K. Insebaeva, G.Ya. Stetsov // J. Phys.: Conf. Ser. 1942 (2021) 012078. 5p. IOP Publishing. – DOI: 10.1088/1742-6596/1942/1/012078.
9. Мониторинг грибов рода *Fusarium* Link. и их микотоксинов на зерне пшеницы в Западной Сибири / Е.Ю. Торопова, И.Г. Воробьева, М.А. Мустафина, М.П. Селюк // Агрохимия. – 2019. – № 5. – С. 76–82.
10. Биологическое разнообразие фитопатогенных почвенных микромицетов на сортах яровой пшеницы в Западной Сибири / Е.Ю. Торопова, И.Г. Воробьева, О.А. Казакова, Р.И. Трунов // Агрохимия. – 2022. – № 10. – С. 56–64. – DOI: 10.31857/S000218812210012X.
11. Монастырский О.А. Микотоксины – глобальная проблема безопасности продуктов питания и кормов // Агрохимия. – 2016. – № 6. – С. 67–71.
12. Саркисов А.Х. Избранные труды. Микология. Микотоксикозы. Дерматомикозы. – М., 2000. – 400 с.
13. Influence of agronomic and climatic factors on *Fusarium* infestation and mycotoxin contamination of cereals in Norway / A. Bernhoft, M. Torp, P.-E. Clasen [et al.] // Food Additives & Contaminants. – 2012. – Part A. – P. 1–12.
14. Ганнибал Ф.Б. Изучение факторов, влияющих на развитие альтернариоза зерна у злаков, возделываемых в европейской части России // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – Т. 53, № 3. – С. 605–615.
15. Кириченко А.А., Торопова Е.Ю. Биологические особенности сибирской популяции грибов рода *Alternaria* // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2013. – №1 (26). – С. 21–26.
16. Альтернариоз зерна яровой пшеницы и ячменя в Западной Сибири и Восточном Зауралье / Е.Ю. Торопова, А.А. Кириченко, О.А. Казакова, И.Н. Порсев // Защита и карантин растений. – 2015. – №1. – С. 20–22.
17. Манукян И.Р., Басиева М.А. Селекция озимой пшеницы на устойчивость к фузариозу колоса для условий предгорной зоны Северного Кавказа // Вестник АПК Ставрополя. – 2016. – № 3 (23). – С. 194–196.
18. Принципы и методы селекции пшеницы на устойчивость к болезням в КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко / И.Б. Аблова, Л.А. Беспалова, Ф.А. Колесников [и др.] // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 5. – С. 32–36.
19. Фитосанитарная диагностика агроэкосистем: учеб.-практ. пособие: В.А. Чулкина, Е.Ю. Торопова, Г.Я. Стецов [и др.]; под ред. Е.Ю. Тороповой. – Барнаул, 2017. – 210 с.
20. Шипилова Н.П., Иващенко В.Г. Систематика и диагностика грибов рода *Fusarium* на зерновых культурах. – СПб., 2008. – 84 с.
21. Инфицированность органов зерновок сортов яровой пшеницы почвенными фитопатогенами / Е.Ю. Торопова, И.Г. Воробьева, О.А. Казакова, В.М. Гришин, В.В. Пискарев // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 7 (100). – С. 185–192. – DOI: 10.21515/1999-1703-100-185-192.

REFERENCES

1. Toropova E.Yu., Kirichenko A.A., Stetsov G.Ya., Zashchita i karantin rastenii, 2023, No. 2, pp. 20–28, DOI 10.47528/1026-8634_2023_2_20. (In Russ.)
2. Toropova E.Yu., Kirichenko A.A., Stetsov G.Ya., Zashchita i karantin rastenii, 2023, No. 3, pp. 16–25, DOI: 10.47528/1026-8634_2023_3_16. (In Russ.)
3. Levitin M.M., Afanasenko O.S., Gagkaeva T.Yu., Gannibal F.B., Gul'tyaeva E.I., Mironenko N.V., Vestnik zashchity rastenii, 2019, No. 4 (102), pp. 5–16. (In Russ.)
4. Levitin M.M., Sel'skokhozyaistvennaya biologiya, 2015, T. 50, No. 5, pp. 641–647. (In Russ.)
5. Lapina V.V., Smolin N.V., Ivoilov A.V., Zhemchuzhina N.S., Elizarova S.A., The micromycetae composition of the soil under the crops of a summer grain cultures and a specificity of *Bipolaris sorokiniana* and *Fusarium* spp. strains, Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 2016, Vol. 7, No. 4, pp. 1804–1810.
6. Toropova E.Yu., Stetsov G.Ya., Chulkina V.A., Epifitotologiya (Epiphytology), Novosibirsk, 2011, 711 p.
7. Vorob'eva I., Toropova E., Fungi ecological niches of the genus *Fusarium* Link, International Conferences “Plant Diversity: Status, Trends, Conservation Concept” 2020/ BIO Web of Conferences 24. 00095 (2020), <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202400095>.
8. Toropova E.Yu., Glinushkin A.P., Insebaeva M.K., Stetsov G.Ya., The conidia *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem. distribution in the soil of Altai and Kazakhstan arid regions, J. Phys.: Conf. Ser. 1942 (2021) 012078. 5p. IOP Publishing, DOI:10.1088/1742-6596/1942/1/012078.
9. Toropova E.Yu., Vorob'eva I.G., Mustafina M.A., Selyuk M.P., Agrokhimiya, 2019, No. 5, pp. 76–82. (In Russ.)
10. Toropova E.Yu., Vorob'eva I.G., Kazakova O.A., Trunov R.I., Agrokhimiya, 2022, No. 10, pp. 56–64, DOI: 10.31857/S000218812210012X (In Russ.)
11. Monastyrskii O.A., Agrokhimiya, 2016, No. 6, pp. 67–71. (In Russ.)
12. Sarkisov A.Kh., Izbrannye trudy. Mikologiya. Mikotoksikozy. Dermatomikozy (Selected works. Mycology. Mycotoxicosis. Dermatomycosis), Moscow, 2000, 400 p.
13. Bernhoft A., Torp M., Clasen P.-E., Loes A.-K., Kristoffersen A.B., Influence of agronomic and climatic factors on *Fusarium* infestation and mycotoxin contamination of cereals in Norway, Food Additives & Contaminants, 2012, Part A, pp. 1–12.
14. Gannibal F.B., Sel'skokhozyaistvennaya biologiya, 2018, T. 53, No. 3, pp. 605–615. (In Russ.)
15. Kirichenko A.A., Toropova E.Yu., Vestnik NGAU, 2013, No. 1 (26), pp. 21–26. (In Russ.)
16. Toropova E.Yu., Kirichenko A.A., Kazakova O.A., Porsev I.N., Zashchita i karantin rastenii, 2015, No. 1, pp. 20–22. (In Russ.)
17. Manukyan I.R., Basieva M.A., Vestnik APK Stavropol'ya, 2016, No. 3 (23), pp. 194–196. (In Russ.)
18. Ablova I.B., Bepalova L.A., Kolesnikov F.A., Nabokov G.D., Kovtunen V.Ya., Filobok V.A., Davoyan R.O., Khudokormova Zh.N., Mokhova L.M., Levchenko Yu.G., Tarkhov A.S., Zernovoe khozyaistvo Rossii, 2016, No. 5, pp. 32–36. (In Russ.)
19. Chulkina V.A., Toropova E.Yu., Stetsov G.Ya., Kirichenko A.A., Marmuleva E.Yu., Grishin V.M., Kazakova O.A., Selyuk M.P., Fitosanitarnaya diagnostika agroekosistem (Phytosanitary diagnostics of agroecosystems), Barnaul, 2017, 210 p. (In Russ.)
20. Shipilova N.P., Ivashchenko V.G., Sistematika i diagnostika gribov roda *Fusarium* na zernovykh kul'turakh (Systematics and diagnostics of *Fusarium* fungi on grain crops.), Sankt-Peterburg, 2008, 84 p. (In Russ.)
21. Toropova E.Yu., Vorob'eva I.G., Kazakova O.A., Grishin V.M., Piskarev V.V., Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2022, No. 7 (100), pp. 185–192, DOI: 10.21515/1999-1703-100-185-192 (In Russ.)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РАНЖИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ НОВЫХ СОРТОВ ЕЖИ СБОРНОЙ

А.Г. Тулинов, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник

Т.В. Косолапова, аспирант, младший научный сотрудник

Институт агробиотехнологий Федерального исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения РАН, Сыктывкар, Россия

E-mail: toolalgen@mail.ru

Ключевые слова: *Dactylis glomerata* L., ежа сборная, коллекция, селекция, образцы, урожайность зеленой массы, пластичность, стабильность, адаптивность, ранжирование.

Реферат. Представлены результаты отбора наиболее перспективных сортообразцов ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.), проведен в период с 2016 по 2021 г. в коллекционном питомнике Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Республика Коми, г. Сыктывкар) по критериям урожайности зеленой массы в сумме за два укоса, параметрам экологической пластичности, стабильности и адаптивности. Это позволило более полно и объективно оценить потенциал геномов данной сельскохозяйственной кормовой культуры для создания нового сорта ежи сборной, адаптированного к условиям Севера. В качестве объектов исследования были выбраны шесть номерных образцов Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) различного эколого-географического происхождения: дикорастущие популяции из Республики Коми (СН-184, СН-185, СН-186, СН-188) и Норвегии (СН-1817), сорт Нака из Финляндии (СН-1816), в качестве стандарта выбран сорт Нева (Ленинградская область), рекомендованный к выращиванию по 1-му (Северному) региону возделывания сельскохозяйственных культур в Российской Федерации. По результатам комплексной оценки 6 перспективных сортообразцов методом ранжирования по 14 параметрам выделен один номер (СН-188) дикорастущей популяции из Республики Коми, обладающий лучшей по сравнению со стандартом и другими образцами урожайностью – 27,0 т/га, значением селекционной ценности – 6,1, уровнем стабильности сорта – 165,5%, коэффициентом адаптивности – 1,13. Данный образец рекомендован к переводу в питомник селекционного испытания с последующим изучением по хозяйственно-олезным признакам, подачей и регистрацией его на государственное сортоиспытание по 1-му (Северному) региону Российской Федерации.

USE OF RANKING METHOD IN THE DEVELOPMENT OF NEW ORCHARDGRASS VARIETIES

A.G. Tulinov, PhD in Agricultural Sciences, Researcher

T.V. Kosolapova, PhD Student, Junior Researcher

Institute of Agrobiotechnologies of the Federal Research Center of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

E-mail: toolalgen@mail.ru

Keywords: *Dactylis glomerata* L., orchardgrass, collection, breeding, samples, green mass yield, plasticity, stability, adaptability, ranking.

Abstract. The paper presents the results of selecting the most promising orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) samples, conducted from 2016 to 2021 in the collection nursery of the Institute of Agrobiotechnology, Federal Research Center Komi Scientific Center Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Republic of Komi, Syktyvkar), based on criteria such as green mass yield for two mowings, ecological plasticity, stability, and adaptability. It allowed for a more comprehensive and objective assessment of this agricultural forage crop's genome potential for creating a new orchardgrass variety adapted to northern conditions. Six numbered samples from the Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR) with different ecological and geographical origins were chosen as the research objects: wild populations from the Republic of Komi (SN-184, SN-185, SN-186, SN-188) and Norway (SN-1817), and the Haka variety from Finland (SN-1816). The Neva variety (Leningrad region), recommended for cultivation in the 1st (Northern) region of agricultural crop cultivation in the Russian Federation, was selected as the standard. Based on the comprehensive assessment of the six promising samples using ranking by 14 parameters, the authors identified one sample (SN-188) from the wild population of the Republic of Komi as

having the best yield (27.0 t/ha), breeding value (6.1), stability level (165.5%), and adaptability coefficient (1.13) compared to the standard and other samples. This sample is recommended for transfer to the breeding test nursery with subsequent study of its economically valuable traits submission for state variety testing in the 1st (Northern) region of the Russian Federation.

Республика Коми по своему географическому расположению относится к региону, в котором большее развитие получает не столько отрасль растениеводства, сколько животноводство [1]. Для обеспечения достаточной кормовой базы крупного рогатого скота необходимы посевы многолетних трав. Одной из них может послужить раннеспелый злак ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), характеризующийся хорошей урожайностью, высокими кормовыми качествами, отличной засухоустойчивостью и теневыносливостью, большим содержанием незаменимых питательных веществ и полностью отвечающий физиологической потребности животного [2–4]. Ещё одним плюсом данной культуры является то, что она может использоваться как компонент в травосмесях при формировании высокопродуктивных сенокосов и пастбищ, подходит и для производства витаминной травяной муки, отличается интенсивным отрастанием в период с весны и после скашивания, высокоактивно наращивая зеленую массу, способна в течение 5–6 лет поддерживать высокую урожайность и не выпадать в травостое [5, 6]. Ежа сборная как питательная сельскохозяйственная культура отлично поедается животными и должна входить в их рацион. В период кущения–колошения ежа накапливает максимальное количество кормовых единиц [7]. Рассматривая технологию возделывания ежи сборной, следует отметить и ее низкостратность, что позволит снизить себестоимость продукции животноводства [8].

Для Республики Коми необходим свой районированный сорт ежи сборной. В Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию на территории Российской Федерации по 1-му (Северному) региону, числятся следующие сорта: Бирская 1, ВИК-61, Двина, Ленинградская 853, Нева, Струта [9]. Институт агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Республика Коми, г. Сыктывкар) ведет селекционную работу по созданию нового сорта, отвечающего критериям высокопродуктивности как по зеленой массе, так и по семенной продуктивности, зимо- и морозостойкости, отвечающего высоким требованиям по хозяйственно полезным признакам. Отсутствие такого сорта ежи сборной определило научную новизну проводимых научно-исследовательских работ.

Большую ценность для кормопроизводства представляют сорта ежи сборной, сочетающие высокие показатели урожайности и хозяйственно полезных признаков при одновременном обладании достаточной экологической пластичностью и стабильностью, т. е. способные давать высокий урожай с отличными качественными параметрами в различных погодных-климатических условиях и удерживать их при изменении внешних факторов [10]. Именно для выполнения такого условия селекционная работа направлена на получение сортообразцов, экологически устойчивых, по степени интенсивности средних, т. е. способных дать не очень высокую урожайность, но стабильную при постоянно изменяющихся климатических условиях региона, что характерно для Республики Коми [11]. Возделывание сортов интенсивного типа возможно лишь при применении полного комплекса агроприемов, включающих в себя внесение повышенных доз удобрений, различных пестицидов для защиты растений от болезней и вредителей, химических или биологических стимуляторов роста, применение современных высокотехнологичных сельскохозяйственных машин и орудий, обеспечение системой орошения и т.д., что в современных экономических реалиях не всегда возможно. Применение «полной» технологии обеспечивает усиленный рост растений, но в то же время возможен и отрицательный эффект – снижение устойчивости к различным экологическим стрессам и перемене факторов среды [12].

Изучение приспособленности образцов к различным изменениям погодных, почвенных и других внешних условий и факторов – основная цель наших исследований. Полученные данные помогут охарактеризовать и получить новый перспективный сорт ежи сборной, обладающий зимостойкостью и оптимально подходящий к возделыванию в северных регионах Российской Федерации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Научно-исследовательская работа выполнена на базе Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Республика Коми, г. Сыктывкар) в коллекционном питомнике

ежи сборной (61°40'35" с.ш., 50°48'35.6" в.д.) в период 2016–2021 гг. Характеристика опытного участка следующая: участок ровный по рельефу, почва дерново-подзолистая кислая, средне-суглинистая по гранулометрическому составу, содержание органического вещества в среднем 7,1% (ГОСТ 26213-91), гумуса – 4,0% (ГОСТ 26213-91), $pH_{\text{сол}}$ – 6,2 (ГОСТ 26483-85), гидролитическая кислотность Нг – 1,74 ммоль/100 г (ГОСТ 26212-91), P_2O_5 – 620,0 мг/кг (ГОСТ 26207-91), K_2O – 333,6 мг/кг (ГОСТ 26207-91), обменный кальций – 13,2 ммоль/100 г (ГОСТ 26487-85), обменный магний – 2,12 ммоль/100 г (ГОСТ 26487-85).

Методика закладки и ведения питомника общепринятая, применимая для выращивания многолетних злаковых трав в Нечерноземной зоне. Посев, уход за посевами и уборка осуществлялись вручную, с последующим учетом урожая в лабораторных условиях по соответствующим методикам [13, 14]. Образцы были заложены квадратно-гнездовым способом с площадью одной делянки 10 м², повторность – четырехкратная. Норма высева – 16–18 кг/га [15]. В исследование включены шесть образцов коллекционного питомника, полученных из мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) различного эколого-географического происхождения [9–11]: СН-184, СН-185, СН-186 и СН-188 (дикорастущие популяции из Республики Коми), СН-1816 (сорт Нака из Финляндии) и СН-1817 (дикорастущая популяция из Норвегии), в качестве стандарта использовался сорт Нева (Ленинградская область), рекомендованный по 1-му (Северному) региону возделывания сельскохозяйственных культур в Российской Федерации [16].

Исследования на экологическую пластичность и адаптивность проводились методом оценки урожайности ежи сборной в сумме за два укоса в коллекционном питомнике с 2016 по 2021 г. по 14 параметрам. Определяли их по следующим методикам: уровень стрессоустойчивости и генетической гибкости ($СУ, G_r$) – по А.А. Rosielle, J. Hamblin в изложении А.А. Гончаренко [17, 18], пластичность и стабильность (b_i, σ_d^2) – по S.A. Eberhart и W.A. Russell [19], коэффициент мультипликативности (КМ) – по В.А. Драгавцеву [20], индекс стабильности и коэффициент вариации (ИС, CV) – по А.А. Грязнову [21], гомеостатичность и селекционная ценность (Hom, S_c) – по В.В. Хангильдину в изложении Л.И. Лихачевой и А.В. Москалева [22, 23], размах урожайности (d) – по В.А. Зыкину [24, 25], коэффициент адаптивности (КА) – по Л.А. Животкову

[26], показатель уровня стабильности образца в сравнении с сортом Нева (ПУСС) – в изложении И.В. Торбиной и И.Р. Фардеевой [27], реализация потенциала урожайности (РПУ) – по Э.Д. Неттевичу [28, 29], значение средней урожайности ($X_{\text{ср}}$) – по Б.А. Доспехову [30].

Статистическую обработку данных проводили путем дисперсионного анализа [30], с помощью пакета анализа данных и надстройки к Microsoft Office Excel 2010 для статистической оценки и анализа результатов полевых и лабораторных опытов AgCSTAT на персональном компьютере.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Произведенный расчет индекса среды (I_j) за каждый год наблюдений позволил определить наиболее благоприятные метеорологические условия для выращивания ежи сборной. Лучшим годом является 2020-й ($I_j = 17,2$), когда средняя урожайность образцов за два укоса составила 41,3 т/га, благоприятные и хорошие условия отмечены в 2018 и 2021 гг. – при продуктивности 27,2 и 31,2 т/га индекс среды составил 3,2 и 17,2 соответственно. Плохие и экстремальные для ежи сборной условия отмечались в остальные годы исследований (2017, 2016 и 2018 гг.), когда индекс среды был близок к нулю и меньше, т.е. отрицательный: -0,3; -11,8 и -15,4 соответственно, а урожайность сортообразцов минимальна – 2,3; 12,2 и 8,6 т/га.

Наиболее стабильно среднеурожайными в контрастных условиях из исследуемых образцов были номера СН-185 и СН-188, что подтверждается показателем генетической гибкости (27,3–28,7). Максимальная средняя урожайность за годы исследований отмечена у сортообразца СН-188 (27,0 т/га), достоверно превысившая значение сорта стандарта Нева на 4,4 т/га ($НСР_{05} = 3,8$ т/га) (таблица). Следует отметить особенность данной сельскохозяйственной культуры, заключающуюся в том, что в первый год жизни формируется вегетативная масса с длинными листьями и лишь ко второму–третьему году достигается полное развитие, что и обуславливает значение урожайности зеленой массы [31].

Анализ полученных данных по урожайности зеленой массы в сумме за два укоса в период с 2016 по 2021 г. не дает достаточного полного представления о превосходстве генотипов одних сортообразцов над другими или стандартом. Рассматривая данный показатель, следует отметить номер СН-188, который в среднем хоть и имеет урожайность, превыша-

ющую стандарт и другие сортообразцы, но по некоторым годам исследований уступает им. Так, в 2016 г. его урожайность составила 11,1 т/га, что на 4,6–5,7 т/га меньше, чем у СН-184 и СН-1816 соответственно ($HCP_{05} - 1,1$ т/га), а в 2018 г. – на 1,9 т/га меньше урожайности СН-187 (31,4 и 33,3 т/га, $HCP_{05} - 1,0$ т/га). В 2017 и 2019 гг. СН-188 превысил по урожайности все варианты на 2,6–10,2 и 0,8–3,1 т/га соответственно. В 2021 г. показатель продуктивности сортообразца составил 33,6 т/га и был на уровне СН-185 и СН-1816 (33,0 и 33,4 т/га, $HCP_{05} - 1,5$ т/га).

Для их объективной и достоверной оценки на основании полученных результатов было проведено ранжирование образцов. Предпочтение при дальнейшей селекции отдавалось генотипам ежи сборной, набравшим наименьшее количество баллов, т. е. занявшим первые места по большинству рассматриваемых параметров.

Ранжирование сортообразцов ежи сборной проводилось методом расчета 14 параметров по урожайности зеленой массы в сумме за два укоса. Результаты оценки приведены в таблице. Использование метода ранжирования, т. е. присвоения определенного места, балла по какому-либо признаку, позволяет произвести всестороннюю оценку сортов и гибридов различных сельскохозяйственных культур и выделить среди них более адаптивные в данном географическом районе, используя методики, формулы расчета, дисперсионный, корреляционный и вариационный анализы определения параметров и коэффициентов экологической устойчивости.

Практический интерес представляют сорта, имеющие высокий показатель селекционной ценности, учитывающий в себе такой параметр адаптивности, как стабильность генотипа и его продуктивность, или урожайность. Номер СН-188 (6,1) превысил сорт стандарт на 1,7, а остальные рассматриваемые варианты – на 0,7–1,6 ед.

Коэффициент мультипликативности, прямо учитывающий силу изменения урожая сорта в различных условиях, варьировал в пределах от 1,9 до 2,2. Данный коэффициент указывает на то, что урожайность изучаемых образцов менее подвержена изменениям в различных условиях в сравнении с сортом Нева (2,2).

Максимальный индекс стабильности СН-184 и СН-188 (52,1–52,2) в сравнении с другими сортообразцами определяет лучшую при-

способленность данных генотипов к условиям их произрастания.

Рассматривая варьирование урожайности, мы произвели сравнение не с сортом-стандартом, а с показателем средней урожайности по всем образцам. Отзывчивость генотипа в каждый год изучения принималась за 100%, реакция отдельного номера в каждом конкретном году на внешние условия вегетационного периода определялись отношением его урожайности к средней по сорту. Полученный при этом коэффициент адаптивности, выраженный в относительной величине, был в пределах 0,93–1,13.

Комплексный показатель уровня стабильности сорта, учитывающий одновременно стабильность и уровень значения урожайности, взятые в отношении к сорту-стандарту Нева, выявил значительное преимущество изученных номеров – на 19,1–65,5%.

Оценка гомеостатичности, связанная с коэффициентом вариации, характеризующим, в свою очередь, устойчивость признака урожайности в постоянно изменяющихся условиях внешней среды, позволяет определить зависимость величины признака от его изменчивости, и чем больше значение параметра (Ном), тем генетически устойчивее и стабильнее сорт. За период проведения исследований наибольшая стабильность отмечена у образца ежи сборной СН-184, подтверждаемая наименьшим значением коэффициента вариации (47%) и относительно высокой гомеостатичностью (1,6).

Ранжирование сортообразцов ежи сборной позволило однозначно установить факт несоответствия номеров СН-1816 и СН-1817 предъявляемым требованиям. Уровень их рангов составил 58 и 53 пункта соответственно, что на 9–14 пунктов выше, чем у стандарта, но ниже других образцов на 4–26 пунктов. Номер СН-1817 получил первый ранг по показателям стрессоустойчивости, гомеостатичности, размаху и реализации потенциала урожайности – соответственно -25,2; 1,8; 75,7% и 67,3%.

Сортообразец СН-188 имеет наилучший показатель по сумме рангов – 32 балла. Он обладает высокими показателями средней урожайности, генетической гибкости, пластичности, адаптивности и стабильности в сравнении со стандартом, обладает высокой селекционной ценностью. По остальным параметрам сортообразец находился на среднем уровне и выше. Образцы СН-184, СН-185 и СН-186 показали промежуточный результат, набрав сумму рангов 41–47 баллов, что на 18–26 пунктов выше, чем у сорта-стандарта Нева.

Ранжирование сортообразцов ежи сборной по параметрам экологической пластичности и адаптивности (значение показателя / ранг)
Ranking of orchardgrass samples based on ecological plasticity and adaptability parameters (parameter value/ rank)

Показатель	Сорт / сортообразец						
	Нева, (стандарт)	СН-184	СН-185	СН-186	СН-188	СН-1816	СН-1817
Урожайность, min–max, т/га	8,4–43,4	7,5–40,4	9,8–44,8	7,9–37,2	10,6–46,8	8,0–43,2	8,1–33,3
Ранжирование							
X _{ср} , т/га	22,6 / 6	24,6 / 2	24,5 / 3	22,8 / 5	27,0 / 1	24,4 / 4	22,4 / 4
СУ	-35,0 / 4	-32,9 / 3	-35,0 / 4	-29,3 / 2	-36,2 / 6	-35,2 / 5	-25,2 / 1
Г _г	25,9 / 3	24,0 / 5	27,3 / 2	22,6 / 6	28,7 / 1	25,6 / 4	20,7 / 7
b _i	1,1 / 1	0,9 / 3	1,1 / 1	0,9 / 3	1,1 / 1	1,0 / 2	0,8 / 4
σ _d ²	6,4 / 4	4,7 / 3	11,9 / 5	3,4 / 1	3,5 / 2	14,7 / 6	23,6 / 7
КМ	2,2 / 1	1,9 / 4	2,1 / 2	1,9 / 4	2,0 / 3	2,0 / 3	1,9 / 4
ИС	37,6 / 7	52,2 / 1	45,5 / 5	46,8 / 4	52,1 / 2	46,9 / 3	45,2 / 6
КА	0,94 / 5	1,03 / 2	1,02 / 3	0,95 / 4	1,13 / 1	1,02 / 3	0,93 / 6
Ном	1,1 / 5	1,6 / 2	1,3 / 4	1,6 / 2	1,4 / 3	1,3 / 4	1,8 / 1
Sc	4,4 / 6	4,6 / 4	5,4 / 2	4,8 / 3	6,1 / 1	4,5 / 5	5,4 / 2
d, т/га (%)	35,0 (80,6) / 5	32,9 (81,4) / 6	35,0 (78,1) / 3	29,3 (78,8) / 4	36,2 (77,4) / 2	35,2 (81,5) / 7	25,2 (75,7) / 1
Cv, %	60 / 6	47 / 1	54 / 5	49 / 2	52 / 4	52 / 4	50 / 3
ПУСС _{ст.} , %	100 / 7	151,1 / 2	131,2 / 4	125,6 / 5	165,5 / 1	134,7 / 3	119,1 / 6
РПУ, %	52,1 / 7	60,9 / 3	54,7 / 6	61,3 / 2	57,7 / 4	56,5 / 5	67,3 / 1
Сумма рангов	67	41	49	47	32	58	53

Анализируя данные ранжирования, можно сделать предварительный вывод об адаптивности образца СН-188 для нашего региона как набравшего наименьшее количество баллов – 32; условно отнести номера СН-184, СН-185 и СН-186 к средней группе с показателями 41–49 баллов; по результатам многолетних исследований на основании методического анализа не рекомендовать к переводу в селекционный питомник и оставить в коллекционном номера СН-1816 и СН-1817, набравшие 53–58 баллов.

На основании расчета параметров коэффициента линейной регрессии (b_i), показывающего отклик генотипа на изменение условий выращивания в лучшую сторону, и дисперсии (σ_d^2), характеризующей стабильность образца в различных условиях среды, а также значения средней урожайности нами была рассчитана модель, предложенная S.A. Eberhart и W.A. Russell для определения группы, к которой можно отнести сорт по его реакции на изменение условий выращивания [19]. Если коэффициент b_i больше или значительно больше единицы, то сорт, гибрид можно характеризовать как отзывчивый, и для получения максимальных параметров, в нашем случае по урожайности, необходимо обеспечить ему высокий уровень агротехники. При значении коэффициента меньше единицы сорт слабее реагирует на изменение внешних факторов, и рекомендуется его выращивание на экстенсивном фоне для получения максимальной урожайности при минимальных затратах. Если b_i близок или равен единице, то сорт прямо пропорционально изменяет свое значение по урожайности при улучшении или ухудшении внешних условий его выращивания. Учитывая сопряженную систему показателей b_i и σ_d^2 , а также условие, при котором генотипы с коэффициентом $b_i > 1$ относятся к высокопластичным, а при $b_i \leq 1$ к относительно низкопластичным, изученные сортообразцы можно характеризовать и отнести к следующим условным группам:

- нестабильный тип, показатель урожайности стремится к максимуму в неблагоприятных

внешних условиях – $b_i < 1$ и $\sigma_d^2 > 0$: СН-185, СН-186 и СН-1817;

- нестабильный тип, показатель урожайности прямо пропорционален улучшению внешних условий – $b_i = 1$ и $\sigma_d^2 > 0$: СН-1816;

- нестабильный тип, показатель урожайности будет максимальным при благоприятных внешних условиях – $b_i > 1$ и $\sigma_d^2 > 0$: СН-184 и СН-188.

Исходя из значения средней урожайности зеленой массы в сумме за два укоса можно выделить образец СН-188 как более оптимальный по данному параметру в условиях Республики Коми, отвечающий формуле: $X_{ср} \rightarrow \max, b_i \rightarrow 1, \sigma_d^2 \rightarrow 0$ (27,0 т/га; 1,1; 3,5).

ВЫВОДЫ

1. В условиях Республики Коми была проведена работа по оценке в коллекционном питомнике шести сортообразцов ежи сборной и произведен отбор лучших из них по параметрам экологической пластичности, стабильности и адаптивности с целью рекомендации перевода их в селекционный питомник.

2. Лучшим по урожайности зеленой массы в сумме за два укоса (27,0 т/га) был номер СН-188 (дикорастущая популяция из Республики Коми), имеющий наиболее высокие по сравнению со стандартом и другими образцами показатели селекционной ценности (6,1) и уровня стабильности сорта (165,5%), коэффициент адаптивности (1,13), и можно рекомендовать его к переводу в питомник селекционного испытания с последующим изучением по хозяйственно полезным признакам, а в дальнейшем – к подаче на регистрацию в качестве перспективного сорта на государственное испытание по 1-му (Северному) региону селекционных достижений, допущенных к использованию на территории Российской Федерации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания № FUUU-2023-0001, Рег. № НИОКТР 123033000036-5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гагеев Г.И. Научные основы молочного скотоводства на Севере. – М.: СТООК, 1998. – 448 с.
2. Growth traits associated with drought survival, recovery and persistence of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) under prolonged drought treatments / M.A. Bakhtiari, F. Saeidnia, M.M. Majidi, A. Mirlohi // Crop and Pasture Science. – 2019. – Vol. 70, N 1. – P. 85–94. – DOI: 10.1071/CP18473.
3. Evaluation of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) population for drought survival and behaviour / L. Zhou, R. Kallida, N. Shaimi [et al.] // Saudi Journal of Biological Sciences. – 2019. – Vol. 26, N 1. – P. 49–56. – DOI: 10.1016/j.sjbs.2016.12.002.

4. Скалозуб О.М., Ключкова Н.Л. Оценка исходного материала для селекции ежи сборной в условиях Приморского края // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 3 (60). – С. 57–64. – DOI: 10.31677/2072-6724-2021-60-3-57-64.
5. *Evaluation of cocksfoot (Dactylis glomerata L.) collection of different geographical origin in the Leningrad region* / N. Malysheva, A. Soloveva, T. Dyubenko, N. Kovaleva, L. Malyshev // Research for Rural Development. – 2019. – N 2. – P. 77–82. – DOI: 10.22616/rdd.25.2019.052.
6. Роль многолетних трав в создании устойчивой кормовой базы при конвейерном использовании / Е.Н. Павлючик, А.Д. Капсамун, Н.Н. Иванова, В.А. Тюлин, О.С. Силина // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. – № 20 (3). – С. 238–246. – DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.238-246.
7. Скоблин Г.С. Ежа сборная. – М.: Колос, 1983. – 100 с.
8. Косолапов В.М., Трофимов И.А. Справочник по кормопроизводству. – М.: Россельхозакадемия, 2014. – 717 с.
9. Тулинов А.Г., Косолапова Т.В. Сравнительная оценка отечественных и зарубежных образцов ежи сборной в условиях Северного региона // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2019. – № 3 (52). – С. 67–73. – DOI: 10.31677/2072-6724-2019-52-3-67-73.
10. Tulinov A.G., Kosolapova T.V. Assessment of the parameters of adaptability of individual populations of the cocksfoot in the Arctic region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – Vol. 979, N 1. – P. 012043. – DOI: 10.1088/1755-1315/979/1/012043.
11. Тулинов А.Г., Косолапова Т.В. Урожайность и параметры адаптивности коллекционных образцов ежи сборной // Аграрная наука. – 2022. – № 2. – С. 76–79. – DOI: 10.32634/0869-8155-2022-356-2-76-79.
12. *Growth and nutrient uptake of temperate perennial pastures are influenced by grass species and fertilisation with a microbial consortium inoculants* / S. Tshewang, Z. Rengel, K.H.M. Siddique, Z.M. Solaiman // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. – 2020. – Vol. 183, N 4. – P. 530–538. – DOI: 10.1002/jpln.202000146.
13. Косолапов В.М., Костенко С.И., Пилипко С.В. Методические указания по селекции многолетних злаковых трав. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. – 52 с.
14. Смурыгин М.А., Новоселова А.С., Константинова А.М. Методические указания по селекции многолетних трав. – М.: ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса, 1985. – 188 с.
15. Шморгунов Г.Т., Тулинов А.Г., Булатова Н.В. Система земледелия Республики Коми: монография. – Сыктывкар: ГОУ ВО КРАГСиУ, 2017. – 225 с.
16. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1: Сорта растений (официальное издание). – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. – 646 с.
17. Rosielle A.A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments // Crop Science. – 1981. – Vol. 21, N 9. – P. 943–946. – DOI: 10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x.
18. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2005. – № 6. – С. 49–53.
19. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Science. – 1966. – Vol. 6, N 1. – P. 36–40. – DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x.
20. Драгавцев В.А., Цильке Р.А., Рейтер Б.Г. Генетика признаков продуктивности яровой пшеницы в Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1984. – 230 с.
21. Грязнов А.А. Селекция ячменя в Северном Казахстане // Селекция и семеноводство. – 2000. – № 4. – С. 2–8.
22. Хангильдин В.В., Бирюков С.В. Проблема гомеостаза в генетико-селекционных исследованиях // Генетико-цитологические аспекты в селекции сельскохозяйственных растений. – 1984. – № 1. – С. 67–76.
23. Лихачева Л.И., Москалев А.В. Экологическая адаптивность сортообразцов гороха посевного в условиях Среднего Урала // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – № 36 (4). – С. 47–51. – DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_47.

- tium inoculants, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2020, vol. 183, No. 4, pp. 530–538, DOI: 10.1002/jpln.202000146.
13. Kosolapov V.M., Kostenko S.I., Pilipko S.V., *Metodicheskie ukazaniya po selektsii mnogoletnikh zlakovykh trav* (Guidelines for the selection of perennial grasses), Moscow: Izd-vo RGAU-MSKhA, 2012, 52 p.
 14. Smurygin M.A., Novoselova A.S., Konstantinova A.M., *Metodicheskie ukazaniya po selektsii mnogoletnikh trav* (Guidelines for the selection of perennial grasses), Moscow: VNIi kormov im. V.R. Vil'yamsa, 1985, 188 p.
 15. Shmorgunov G.T., Tulinov A.G., Bulatova N.V., *Sistema zemledeliya Respubliki Komi: monografiya* (Farming system of the Komi Republic: monograph), Syktyvkar: GOU VO KRAGSiU, 2017, 225 p.
 16. Gosudarstvennyi reestr selektsionnykh dostizhenii, dopushchennykh k ispol'zovaniyu. T. 1. «Sorta rastenii» (ofitsial'noe izdanie) (State register of breeding achievements approved for use. Vol. 1. «Plant varieties» (official publication), Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2022, 646 p.
 17. Rosielle A.A., Hamblin J., Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments, *Crop Science*, 1981, Vol. 21, No. 9, pp. 943–946, DOI: 10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x.
 18. Goncharenko A.A., *Vestnik Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk*, 2005, No. 6, pp. 49–53. (In Russ.)
 19. Eberhart S.A., Russell W.A., Stability parameters for comparing varieties, *Crop Science*, 1966, Vol. 6, No. 1, pp. 36–40, DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x.
 20. Dragavtsev V.A., Tsil'ke R.A., Reiter B.G., *Genetika priznakov produktivnosti yarovoi pshenitsy v Zapadnoi Sibiri* (Genetics of traits of spring wheat productivity in Western Siberia), Novosibirsk: Nauka, 1984, 230 p.
 21. Gryaznov A.A., *Selektsiya i semenovodstvo*, 2000, No. 4, pp. 2–8. (In Russ.)
 22. Khangil'din V.V., Biryukov S.V., *Genetiko-tsitologicheskie aspekty v selektsii sel'skokhozyaistvennykh rastenii*, 1984, No. 1, pp. 67–76. (In Russ.)
 23. Likhacheva L.I., Moskalev A.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2022, Vol. 36, No. 4, pp. 47–51, DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_47. (In Russ.)
 24. Zykin V.A., Belan I.A., Rosseev V.M., Pashkov S.V., *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk*, 2000, No. 2, pp. 5–7. (In Russ.)
 25. Zykin V.A., Belan I.A., Yusov V.S., Nedorezkov V.D., Ismagilov R.R., Kadikov R.K., Islamgulov D.R., *Metodika rascheta i otsenki parametrov ekologicheskoi plastichnosti sel'skokhozyaistvennykh rastenii* (Methodology for calculating and evaluating the parameters of ecological plasticity of agricultural plants), Ufa, 2005, 99 p.
 26. Zhivotkov L.A., Morozova Z.A., Sekatueva L.I., *Selektsiya i semenovodstvo*, 1994, No. 2, pp. 3–7. (In Russ.)
 27. Torbina I.V., Fardeeva I.R., *Vestnik Kazanskogo GAU*, 2021, Vol. 62, No. 2, pp. 43–48, DOI: 10.12737/2073-0462-2021-43-48. (In Russ.)
 28. Nettevich E.D., Morgunov A.I., Maksimenko M.I., *Vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 1985, No. 1, pp. 66–73. (In Russ.)
 29. Nettevich E.D., *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk*, 2001, No. 3, pp. 3–6. (In Russ.)
 30. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy* (Field experience methodology with the basics of statistical processing of research results), Moscow: Kolos, 1979, 416 p.
 31. Kosolapova T.V., Tulinov A.G., *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka*, 2021, No. 5, pp. 22–26, DOI: 10.31857/S2500262721050045. (In Russ.)

ВЕТЕРИНАРИЯ И ЗООТЕХНИЯ

DOI: 10.31677/2072-6724-2023-68-3-138-146

УДК 575.222: 57.083.34

ИЗУЧЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ЗАРАЖЕНИЯ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ САЛЬМОНЕЛЛАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ERIC-ПЦР И РЕАКЦИИ АГГЛЮТИНАЦИИ С ФЛЮОРЕСЦЕНТНО-МЕЧЕНЫМИ АНТИГЕНАМИ (ИРА)

¹А. А. Грицан, аспирант

^{1,2}В.С. Черепушкина, магистрант, младший научный сотрудник

¹Ю.С. Хоменко, младший научный сотрудник

^{1,2,3}В.Н. Афонюшкин, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

²Я. В. Новик, кандидат ветеринарных наук

²Л. П. Ермакова, кандидат ветеринарных наук

¹Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий РАН,
р.п. Краснообск, Новосибирской. обл., Россия

²Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

³Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: lisocim@mail.ru

Ключевые слова: ERIC-ПЦР, антиген, сальмонелла, генотип, птица, бактериальные клетки, праймер, противосальмонеллезные мероприятия.

Реферат. Цель исследования — разработать диагностические алгоритмы использования ERIC-ПЦР и ИРА, которые позволят выявлять пути заноса сальмонелл на птицефабрику. Изучали генетические различия 15 изолятов *Salmonella spp.*, выделенных из патологического материала, кормового сырья и смывов из птичников птицефабрик бройлерного направления (родительское стадо и ремонтный молодняк) Западно- Сибирского региона. Видовую принадлежность культур сальмонелл подтверждали методом секвенирования и/или с использованием биохимических тестов и агглютинационных сывороток. ДНК бактерий выделяли стандартным силико - сорбционным методом. Анализ геномной ДНК изучаемой коллекции сальмонелл методом ERIC-ПЦР позволил сгруппировать полученные штаммы и изоляты в три генотипа, отличающиеся друг от друга паттернами ампликонов на электрофореze в полиакриламидном геле. Сопоставление результатов ИРА с сыворотками крови птицы родительского стада и ремонтного молодняка птицефабрики №1 позволило выявить антитела как к сальмонеллам генотипа 1, так и к сальмонеллам генотипа 2 в большинстве обследованных стад птицы. Анализ корреляции титров антител к антигенам сальмонелл 1-го и 2-го генотипов позволил исключить перекрестную реакцию, так как в отдельных птичниках корреляционная зависимость была отрицательной, в двух птичниках положительной и в одном птичнике отсутствовала. Система реакции иммунофлуоресцентной агглютинации позволяет достаточно специфично различать серопревалентность к разным штаммам сальмонелл на отдельно взятых сельскохозяйственных предприятиях. Совокупность данных серологического анализа позволяет говорить о том, что у части птицы наблюдается повышенная восприимчивость к заражению сальмонеллами обоих генотипов, что позволяет предполагать у данных особей наличие генетических особенностей или особенностей кишечной микрофлоры, связанных с восприимчивостью к заражению сальмонеллами.

STUDYING THE SOURCES OF INFECTION OF BROILER CHICKENS BY SALMONELLA USING ERIC-PCR AND AGGLUTINATION REACTION WITH FLUORESCENCE-LABELED ANTIGENS (FLA)

¹A.A. Gritsan, PhD student

^{1,2}V.S. Cherepushkina, Master's student, Junior researcher

¹Y.S. Khomenko, Junior researcher

^{1,2,3}V.N. Afonyushkin, Ph.D. in Biological Sciences, Senior Researcher

²Ya.V. Novik, Ph.D. in Veterinary Sciences

²L.P. Ermakova, Ph.D. in Veterinary Sciences

¹Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies RAS, settlement Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

²Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

³Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine SB RAS, Novosibirsk, Russia

E-mail: lisocim@mail.ru

Keywords: ERIC-PCR, antigen, salmonella, genotype, poultry, bacterial cells, primer, anti-salmonella measures.

Abstract. The study aims to develop diagnostic algorithms for using ERIC-PCR and IRA, which make it possible to identify the routes of Salmonella introduction into a poultry farm. The authors studied the genetic differences of 15 isolates of Salmonella spp., isolated from pathological material, feed raw materials and swabs from poultry houses of broiler poultry farms (parent stock and replacement young animals) in the West Siberian region. The species of Salmonella cultures were confirmed by sequencing and using biochemical tests and agglutination sera. Bacterial DNA was isolated using the standard silicosorption method. Analysis of the genomic DNA of the studied collection of Salmonella using the ERIC-PCR method allowed us to group the resulting strains and isolates into three genotypes that differ in amplicon patterns on polyacrylamide gel electrophoresis. Comparison of IRA results with blood sera of birds from the parent flock and replacement young animals of poultry farm No. 1 made it possible to identify antibodies to both Salmonella genotype one and Salmonella genotype 2 in most of the examined poultry flocks. Analysis of the correlation of antibody titers to Salmonella antigens of the 1st and 2nd genotypes made it possible to exclude a cross-reaction in some poultry houses. The correlation was negative. It was positive in two poultry houses, and there was no correlation in one. The immunofluorescence agglutination reaction system makes it possible to precisely distinguish the seroprevalence of different Salmonella strains at individual agricultural enterprises. The totality of data from serological analysis suggests that some birds have an increased susceptibility to infection with Salmonella of both genotypes, which means that these individuals have genetic characteristics or characteristics of the intestinal microbiota associated with exposure to infection with Salmonella.

Сальмонеллёзы представляют актуальную проблему здравоохранения, санитарно-эпидемиологического и ветеринарного надзора в большинстве стран мира, что связано с высоким уровнем заболеваемости, обусловленным массовым производством и экспортом продуктов питания, появлением устойчивых к антибиотикам штаммов, *S. enteritidis* и *S. Typhimurium*, и отсутствием предпосылок к его снижению. Идентификация возбудителя дает мало информации в ходе эпидемиологического расследования причин заболевания и обуславливает необходимость изучения различий сальмонелл в пределах одного серотипа. Для типирования сальмонелл наиболее перспективным представляется применение молекулярно-генетических методов, которые позволяют получать информацию о распространении тех или иных генетических вариантов [1].

В настоящее время существует значительный арсенал генетических методов, которые могут использоваться для типирования сальмонелл и множества других видов бактерий. Один из них – Enterobacterial Repetitive Intergenic Consensus (ERIC) ПЦР является мощным методом ДНК-фингерпринтинга. В этом методе повторы несовершенного палиндрома размером 127 п.н. используются в качестве мишени

для ПЦР вингерпринтинга, когда нет необходимости в информации о целевой последовательности ДНК, что делает его эффективным и универсальным методом молекулярной эпизоотологии широкого спектра инфекционных агентов. Этот метод быстрее, проще и экономичнее, чем другие методы геномного типирования [2, 3, 4–7]. Количество и расположение в геноме повторяющихся элементов обычно уникально для отдельных штаммов. Использование праймеров, гомологичных этому палиндрому, приводит к получению уникального набора продуктов амплификации. При этом последовательность, характерная для определенной таксономической группы, может присутствовать и в геномах других, неродственных, бактерий [8–10].

Еще один метод молекулярной эпизоотологии – определение антител к сальмонеллам как в контексте оценки серопревалентности в популяциях, так и для сопоставления антигенных различий циркулирующих в стаде штаммов. Для повышения эффективности и универсальности серологических обследований стад птицы, неблагополучных по сальмонеллезам, нами была предложена и запатентована система на основе реакции агглютинации с флуоресцентно-меченым антигеном. Реакция прохо-

дит в лунках 96-луночного микропланшета с V-образным дном [11, 12].

Цель исследования – разработать диагностические алгоритмы использования ERIC-ПЦР и ИРА, которые позволят выявлять пути заноса сальмонелл на птицефабрику.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучали генетические различия 15 изолятов *Salmonella spp.*, выделенных из патологического материала, кормового сырья и смывов из птичников птицефабрик бройлерного направления (родительское стадо и ремонтный молодняк) Западно-Сибирского региона, сопоставляя

их с результатами аналогичных исследований сектора молекулярной биологии за предшествующие периоды. Микробиологические исследования проводили с использованием специфических сред (висмут-сульфит агар и RVS-бульон (ФБУН ГНЦ ПМБ Оболенск (Россия)), видовую принадлежность культур сальмонелл подтверждали методом секвенирования и/или с использованием биохимических тестов и агглютинационных сывороток. ДНК бактерий выделяли стандартным силико-сорбционным методом.

ПЦР проводили по программе температурных режимов, приведенной в табл. 1.

Таблица 1

Программа температурных режимов ERIC-ПЦР
ERIC-PCR temperature program

Этап	Температура, °C	Время	Количество циклов
1	95,0	20 с	38
2	51,4	1 мин	
3	72,0	40 с	

ПЦР проводили в конечном объеме 20 мкл, содержащем 67 мМ трис-HCl (pH 8,9), 16 мМ (NH₄)₂SO₄; 2,4 мМ MgCl₂; 0,01% Твин 20; 0,2 мМ дНТФ; 0,3 мкМ растворы олигонуклеотидных праймеров, 1–2 ед. HotstartTaq-ДНК полимеразы. Результаты ERIC-ПЦР оценивали электрофоретически в 6% ПААГ. Визуализацию гелей осуществляли после окрашивания SYBRGreenI в трансиллюминаторе GelDocXR+ (Bio-Rad). Обработку изображений осуществляли с использованием ПО ImageLab (BioRad) [11].

Для оценки генетической гетерогенности культур бактерий ставили ERIC-ПЦР геномной ДНК со стандартных праймеров [3]:

5'-ATGTAAGCTCCTGGGGATTAC-3'ERIC2

5'-AAGTAAGTGACTGGGGTGAGCG-3'

Серологические исследования проводили с использованием иммунофлуоресцентной реакции агглютинации по следующему протоколу [12–14].

Антигены получали из предварительно убитой (нагреванием до 65°C в течение 3 ч) взвеси бактериальных клеток (суточные культуры ресуспендировали в физиологическом растворе до 2 MFU). Использовали инактивированные культуры сальмонелл «генотип

1» и «генотип 2», которые были выделены из патологического материала и задохликов и предварительно охарактеризованы методами молекулярной эпизоотологии. Для получения флуоресцентно-меченых антигенов к взвеси инактивированных бактериальных клеток добавляли 0,1%-й раствор флуоресцентного красителя – акридиновый оранжевый, после инкубации в течение 1 ч несвязавшийся краситель трехкратно отмывали центрифугированием (3 тыс. об/мин).

Предварительно определили оптимальную концентрацию антигенов. Для этой цели антигены разводили с шагом 1 : 2 и вносили в лунки 96-луночного микропланшета с V-образным дном через 16 ч инкубации. Затем проводили реакцию агглютинации с сыворотками крови, которые раститровали с шагом 1 : 2, вносили антигены и после инкубации в течение 16 ч оценивали светимость антигенов по типу «пуговка/зонтик» с помощью трансиллюминатора GelDocBioRad. Обработку изображений осуществляли с использованием ПО ImageLab (BioRad).

Серопревалентность к антигенам сальмонелл оценивали в сыворотке крови от цыплят и кур 5 птичников в возрасте от 5 до 437 дней (n = 121).

Статистическую обработку данных производили методами вариационной и непараметрической статистики, нормальность распределения оценивали по методу Шапиро-Уилка, коэффициент корреляции анализировали по Пирсону, статистическую значимость различий – по Манну-Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ геномной ДНК изучаемой коллекции сальмонелл методом ERIC-PCR позволил сгруппировать полученные штаммы и изоляты в три генотипа, отличающиеся друг от друга паттернами ампликонов на электрофорезе в полиакриламидном геле (рис. 1). Структуры профилей электрофореграмм сальмонелл одного и того же генотипа устойчиво воспроизводились, что позволяет рассуждать в том числе о клональности этих изолятов.

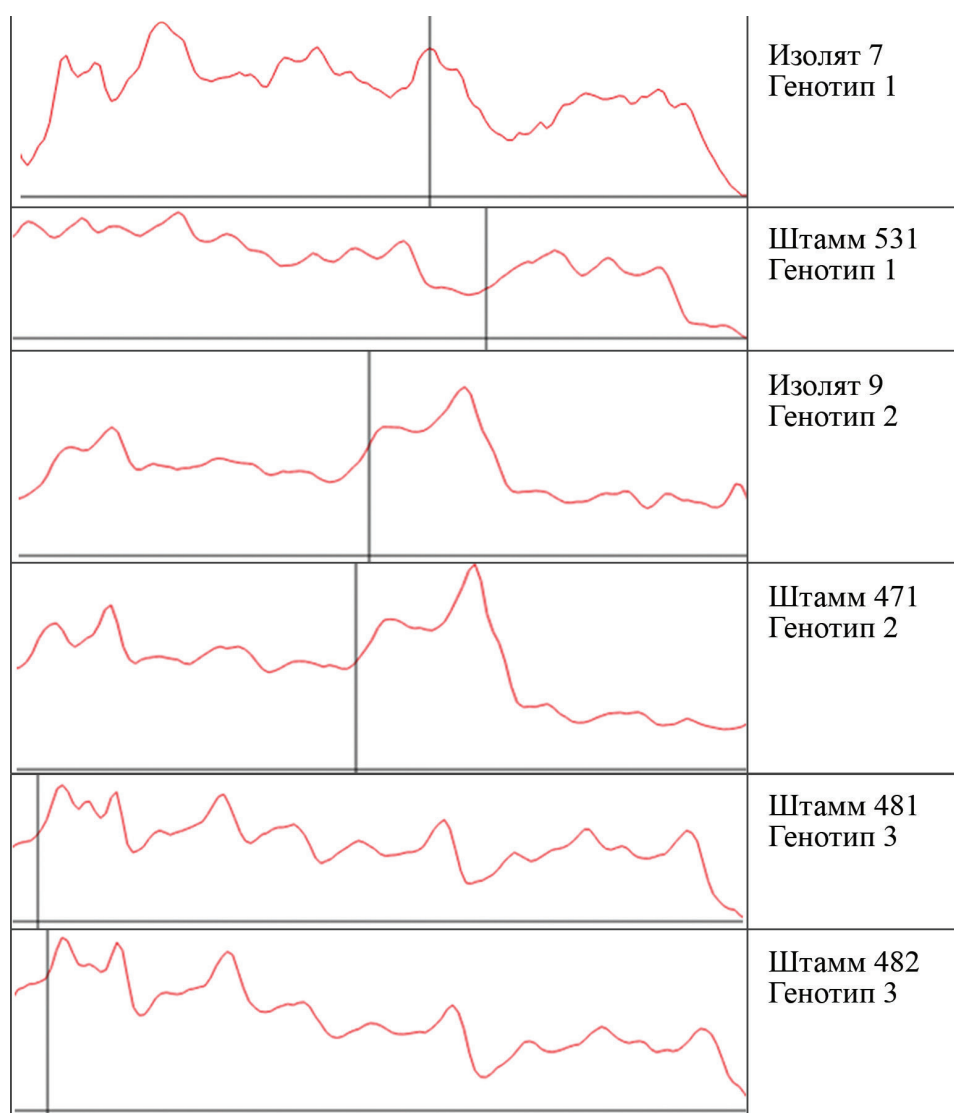


Рис. 1. Денситограммы результатов ERIC-ПЦР различными штаммами и изолятами *Salmonella* spp.
Densitograms of ERIC-PCR results with various strains and isolates of *Salmonella* spp.

Как следует из результатов генетического анализа сальмонелл, наиболее широко распространены на обследуемых птицефабриках сальмонеллы генотипа 1. Выявление их у птицы родительских стад позволило предположить, что широкое распространение сальмонелл указанного генотипа у бройлеров об-

условлено вертикальной передачей данного штамма сальмонелл. Однако эта версия была поставлена под сомнение по причине выявления сальмонелл генотипа 1 на птицефабрике № 3 (из другого региона и с другим источником комплектования птицы). Сальмонеллы, обнаруженные у задохликов (т.е. в выводном

шкафу) не были отнесены к 1–3 му генотипам и, следовательно, не способны накапливаться в стадах бройлеров, т. е. вертикальная передача сальмонелл в принципе на данной птицефабрике происходит, но в форме abortивной инфекции. Свежевыделенные культуры саль-

монелл от 15.04.2022 не отличались от ранее предоставленных культур на птицефабрике №1. Можно говорить о формировании устойчивого эпизоотического очага сальмонеллеза на данном предприятии (табл. 2).

Таблица 2

Анализ генетического разнообразия *Salmonella* spp. по результатам ERIC-ПЦР
Analysis of genetic diversity of *Salmonella* spp. based on ERIC-PCR results

Дата изоляции	Описание изолята	Птицефабрика	Генотип
05.08.2021	Изолят 1. Пат. материал от цыплят-бройлеров, возраст 4 дня, птичник 1	1	1
	Изолят 2. Пат. материал от цыплят-бройлеров, возраст 3 дня, птичник 2	1	1
19.08.2021	Изолят 3. Материал от род. стада № 5 (395дней)	1	-
20.08.2021	Изолят 4. Подстилочный материал. Род. стада № 1 и 2	1	1
07.09.2021	Изолят 5. Материал от род стада № 3 (218 дней)	1	-
	Изолят 6. Материал от род. стада № 4	1	-
9.09.2021	Изолят 7. Клоакальные смывы от род. стада № 4	1	1
	Изолят 8. Пат. материал от цыплят-бройлеров, возраст 3 дня, птичник 2	1	1
	Изолят 9. Пат. материал от цыплят-бройлеров, возраст 3 дня, птичник 2	1	2
15.04.2022	Штамм 537. Пробы печени на убое. Птичник 4. Бройлеры	1	1
10.03.2022	Штамм 531. Тушка птицы охлажденная. Бройлеры	3	1
12.03.2019	Штамм 471. Пат. материал от цыплят-бройлеров, возраст 3 дня, птичник 3	1	2
03.07.2019	Штамм 482. Пат. материал от суточных цыплят	2	3
	Штамм 481. Пат. материал от цыплят-бройлеров на убое	2	3
12.03.2019	Штамм 466. Пат. материал от цыплят-бройлеров на убое	1	2
2020	Штамм. Партия сои экструдированной	1	3

Сальмонелла генотипа 3 встречалась только у птицы (патологический материал) птицефабрики № 2, а также была обнаружена в со-

евом шроте, но поступавшем на птицефабрику № 1. Эффективность противосальмонеллезных мероприятий на птицефабрике № 1, как видим,

весьма высока и позволяет предотвращать массовую циркуляцию по птицефабрике сальмонелл минимум двух генотипов, за исключением сальмонелл генотипа 1.

Низкая эффективность микробиологических методов диагностики ограничивает возможности оценки интенсивности и экстенсивности эпизоотического процесса на птицефабрике, снижая в том числе возможность контроля эффективности противоэпизоотических мероприятий при сальмонеллезе.

Были изготовлены флуоресцентно-меченные антигены из сальмонелл генотипов 1 и 2 для проведения ИРА с целью изучения серопревалентности к этим антигенам сельскохозяйственной птицы на птицефабрике № 1. Особенность новой модификации РА состоит в том, что в ультрафиолетовых лучах пуговка светится в виде точки. Таким образом, мы можем узнать, к какому заболеванию специфичны антитела.

Сопоставление результатов ИРА с сыворотками крови птицы родительского стада и ремонтного молодняка птицефабрики № 1 позволило выявить антитела как к сальмонеллам генотипа 1, так и сальмонеллам генотипа 2 в большинстве обследованных стад птицы. Анализ корреляции титров антител к антигенам сальмонелл 1-го и 2-го генотипов позволил исключить перекрестную реакцию, так как в отдельных птичниках корреляционная зависимость была отрицательной, в двух птичниках – положительной и в одном птичнике отсутствовала (рис. 2). Результаты серологического тестирования сывороток с антигеном 1 и антигеном 2 также не совпадали (конкордантность отсутствовала), что говорит о разной антигенной структуре сальмонелл с генотипом 1 и 2. Таким образом, система реакции иммунофлуоресцентной агглютинации позволяет достаточно специфично различать серопревалентность к разным штаммам сальмонелл на отдельно взятом предприятии.

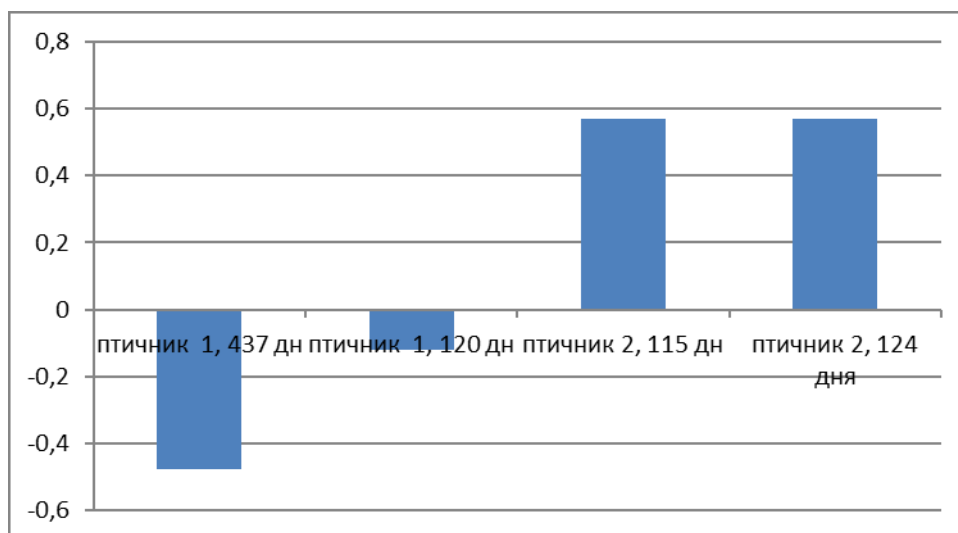


Рис. 2. Коэффициент корреляции титров антител (r_2) в разных стадах цыплят-бройлеров в ИРА к антигенам сальмонелл генотипов 1 и 2, r_2 (по Пирсону)

The correlation coefficient of antibody titers r_2 in different flocks of broiler chickens in IRA to Salmonella antigens of genotypes 1 and 2, r_2 (according to Pearson)

Так как корреляция присутствовала и была положительной у птицы в возрасте 115 и 124 дня, следовательно, у птицы в этом возрасте есть общий фактор, который повышает риск заражения сальмонеллами обоих генотипов.

Как следует из рис. 3, существует общая тенденция к росту инфицированности сельскохозяйственной птицы к возрасту 115–125 дней, при этом серопревалентность достигает значения от 100% (сальмонелла генотипа 1) до 72% (сальмонелла генотипа 2).

Обращает на себя внимание выявление антител к сальмонеллам генотипа 2 у 5-дневного ремонтного молодняка (серопревалентность 18%), что позволяет обосновать вертикальный занос сальмонелл данного генотипа от репродуктора первого порядка. Отсутствие антител к сальмонеллам генотипа 1 у ремонтного молодняка в возрасте до 7 дней позволяет исключить вертикальный занос сальмонелл данного генотипа на птицефабрику и усиливает кормовую версию его распространения.

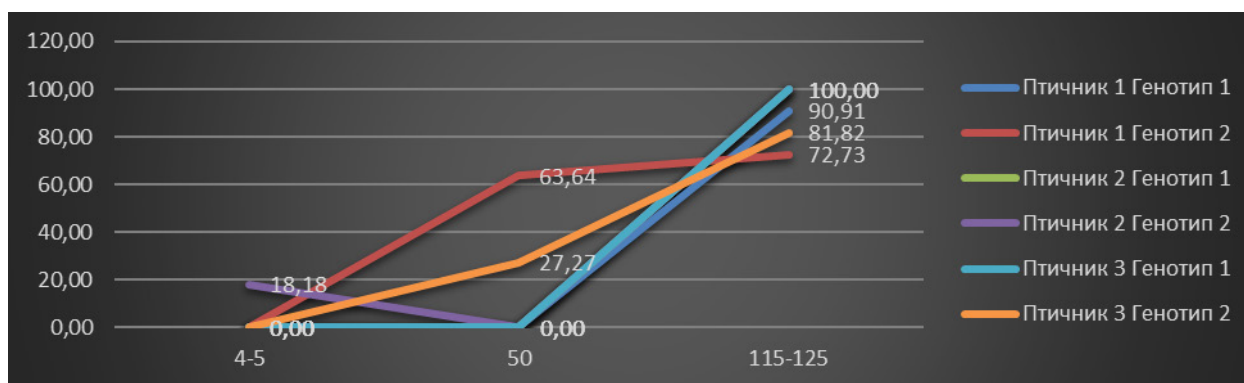


Рис. 3. Динамика изменения серопревалентности в отношении сальмонелл генотипа 1 и генотипа 2. По оси абсцисс – возраст, дней; по оси ординат – серопревалентность, %

Dynamics of changes in seroprevalence about Salmonella genotype one and genotype 2. The x-axis is age and days; The y-axis is seroprevalence, %

Таблица 3

Наличие статистически значимых различий титров антител в различных стадах птицы разного возраста (по Манну-Уитни)
Statistically significant differences in antibody titers in different flocks of poultry of different ages (Mann-Whitney)

Статистически значимые ($p < 0,05$)	Статистически не значимые, ($p > 0,05$)
Птичник 1, возраст 50 дней	Птичник 4, возраст 437 дней
Птичник 3, возраст 177 дней	Птичник 4, возраст 120 дней
Птичник 2, возраст 225 дней	Птичник 3, возраст 5 дней

Анализ табл. 3 позволяет выявить три птичника с несовпадающими значениями титров антител при тестировании крови птицы в ИРА с антигенами на основе штаммов сальмонелл генотипов 1 и 2. Этот факт позволяет говорить о контакте обследованной птицы с разными штаммами сальмонелл.

Тем не менее 4 птичника (в т.ч. птица разного возраста из одних и тех же птичников) характеризуются отсутствием статистически значимых различий титров антител при тестировании крови с антигенами сальмонелл обоих генотипов.

Совокупность данных серологического анализа позволяет говорить о том, что у части птицы отмечается повышенная восприимчивость к заражению сальмонеллами обоих генотипов, что дает основание предполагать у данных особей наличие генетических особенностей или особенностей кишечной микрофлоры, связанных с восприимчивостью к заражению сальмонеллами.

Полученные результаты позволяют обосновать приоритетность мер биологической защиты. Например, в приведенном исследо-

вании именно ограничение горизонтального распространения внутри производственной площадки по выращиванию бройлеров обеспечит снижение зараженности сальмонеллой генотипа 1, но будет менее эффективно для сальмонелл генотипов 2 и 3. Выявленный случай выявления сальмонелл в сое и патологическом материале позволяет рассматривать поставщика сои как глобальный источник заражения сальмонеллами для региона в целом.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее представленная на птицефабрике № 1 сальмонелла генотипа 1 стабильно встречается на двух разных птицефабриках, включая родительское стадо, но не обнаруживается в кормах и птице от репродуктора первого порядка. Представленность сальмонелл генотипа 2 меньше как по данным ERIC-ПЦР, так и по результатам оценки серопревалентности в ИРА, однако данные ИРА позволяют утверждать, что путь заноса сальмонелл этого генотипа на птицефабрику № 1 – вертикальный.

Ассоциируемость сальмонелл генотипа 3 с кормовым сырьем позволяют рассматривать корма в качестве основного фактора распространения сальмонелл данного серотипа по региону.

2. Анализ сывороток, позитивных на генотипы сальмонелл 1 и 2, встречаемость стад с отрицательной корреляцией между титрами антител к обоим исследуемым антигенам позволяют исключить существенное влияние перекрестных реакций при проведении ИРА,

что дает возможность использовать данный тест для раздельного серологического анализа циркуляции сальмонелл генотипов 1 и 2 (при условии проверки данного факта для каждой отдельной эпизоотической ситуации).

3. Сочетание ERIC-ПЦР с ИРА обеспечивает возможность обоснования как вертикального пути заноса сальмонелл на птицефабрику, так и с кормами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Recent Multistate Outbreaks of Human Salmonella Infections Acquired from Turtles: A Continuing Public Health Challenge* / R. Julie [et al.] // *Clinical Infectious Diseases*. – 2010. – Vol. 50. – P. 554–559.
2. *Comparison of genotyping methods by application to Salmonella Livingstone strains associated with an outbreak of human salmonellosis.* / J. Eriksson, C. Lofstrom, A. Aspan [et al.] // *Int J Food Microbiol.* – 2005. – Vol. 25. – P. 93–103.
3. *Wilson L.A., Sharp P.M. Enterobacterial Repetitive Intergenic Consensus (ERIC) Sequences in Escherichia coli: Evolution and Implications for ERIC-PCR* // *Mol. Biol. Evol.* – 2006. – Vol. 23. – P. 1156–1168.
4. *McClelland M., Welsh. J. DNA fingerprinting by arbitrarily primed PCR* // *Genome Res.* – 1994. – Vol. 4. – P. 59–65.
5. *Population structure, origins and evolution of major Salmonella enterica clones* / R. Lan [et al.] // *Infect Genet Evol.* – 2009. – Vol. 9, N 5. – P. 996–1005.
6. *Rapid outbreak assessment. Unusual increase of Salmonella Mikawasima infections in humans* // European Centre for Disease Prevention and Control, Stockholm, 28 November. – 2013. – P. 1–9.
7. *Rapid risk assessment. Multi-country outbreak of Salmonella Stanley infections* // European Centre for Disease Prevention and Control, Stockholm, 27 July. – 2012. – P. 1–6.
8. *Comparison of Subtyping Methods for Differentiating Salmonella enterica Serovar Typhimurium Isolates Obtained from Food Animal Sources* / S. L. Foley [et al.] // *J. Clin. Microbiol.* – 2006. – Vol. 44, N 10. – P. 3569–3577.
9. *Strain differentiation of Indian isolates of Salmonella by ERIC-PCR* / M. K. Saxena [et al.] // *Res Vet Sci.* – 2002. – Vol. 73. – P. 313–314.
10. *The Global Burden of Nontyphoidal Salmonella Gastro- enteritis* / S. E. Majowicz [et al.] // *Clinical Infectious Diseases*. – 2010. – Vol. 50, N 6. – P. 882–889.
11. *Изучение эпизоотической значимости Salmonella enterica серотипа Hamburg на птицеводческих предприятиях с использованием серологических исследований* / Ю.С. Хоменко, О.С. Козлова, А.В. Афонюшкин, В.Н. Афонюшкин // *Птицеводство*. – 2022. – № 12. – С. 92–95.
12. *Способ определения антител к бактериальным антигенам: Патент № 2563885 С1* / В.Н. Афонюшкин, М.Л. Филипенко, А.С. Киревичева [и др.]. – Заявл. 03.06.2014, Опубл. 27.09.2015.
13. *Versalovic J., Koeuth T., Lupski J.R. Distribution of repetitive DNA sequences in eubacteria and application to fingerprinting of bacterial genomes* // *Nucleic Acids Res.* 1991. – Vol. 19 – P. 6831–6832.
14. *Шагинян И.А. Роль и место молекулярно-генетических методов в эпидемиологическом анализе внутрибольничных инфекций* // *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия*. – 2000. – Т. 2. – С. 82–95.
15. *Variation in Salmonella enteritidis RAPD-PCR patterns may not be due to genetic differences* / D. L. Mathis [et al.] // *Avian Dis.* – 2011. – Vol. 55. – P. 620–625.

REFERENCES

1. Julie R. [et al.], Recent Multistate Outbreaks of Human Salmonella Infections Acquired from Turtles: A Continuing Public Health Challenge, *Clinical Infectious Diseases*, 2010, Vol. 50, pp. 554–559.
2. Eriksson J., Lofstrom C., Aspan A. [et al.], Comparison of genotyping methods by application to Salmonella Livingstone strains associated with an outbreak of human salmonellosis, *Int J Food Microbiol.*, 2005, Vol. 25, pp. 93–103.
3. Wilson L.A., Sharp P.M., Enterobacterial Repetitive Intergenic Consensus (ERIC) Sequences in *Escherichia coli*: Evolution and Implications for ERIC-PCR, *Mol Biol Evol.*, 23, 2006, pp. 1156–1168.
4. McClelland M., Welsh J., DNA fingerprinting by arbitrarily primed PCR, *Genome Res*, 1994, Vol. 4, pp. 59–65.
5. Lan R. [et al.], Population structure, origins and evolution of major Salmonella enterica clones, *Infect Genet Evol.*, 2009, Vol. 9, No. 5, pp. 996–1005.
6. Rapid outbreak assessment. Unusual increase of Salmonella Mikawasima infections in humans, European Centre for Disease Prevention and Control, Stockholm, 28 November, 2013, pp. 1–9.
7. Rapid risk assessment. Multi-country outbreak of Salmonella Stanley infections, European Centre for Disease Prevention and Control, Stockholm, 27 July, 2012, pp. 1–6.
8. Foley S.L. [et al.], Comparison of Subtyping Methods for Differentiating Salmonella enterica Serovar Typhimurium Isolates Obtained from Food Animal Sources, *J. Clin. Microbiol.*, 2006, Vol. 44, No. 10, pp. 3569–3577.
9. Saxena M.K. [et al.], Strain differentiation of Indian isolates of Salmonella by ERIC-PCR, *Res Vet Sci.*, 2002, Vol. 73, pp. 313–314.
10. Majowicz S.E. [et al.], The Global Burden of Nontyphoidal Salmonella Gastro- enteritis, *Clinical Infectious Diseases*, 2010, Vol. 50, No. 6, pp. 882–889.
11. Homenko YU.S., Kozlova O.S., Afonyushkin A.V., Afonyushkin V.N., *Pticevodstvo*, 2022, No. 12, pp. 92–95. (In Russ.)
12. Afonyushkin V.N., Filipenko M.L., Kirevicheva A.S. [i dr.], Patent № 2563885 C1, Cposob opredeleniya antitel k bakterial'nym antigenam: zayavl. 03.06.2014: opubl. 27.09.2015. (In Russ.)
13. Versalovic J., Koeuth T., Lupski J.R., Distribution of repetitive DNA sequences in eubacteria and application to fingerprinting of bacterial genomes, *Nucleic Acids Res*, 1991, Vol. 19, pp. 6831–6832.
14. SHaginyan I.A., *Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya himioterapiya*, 2000, T. 2, pp. 82–95. (In Russ.)

ПОЛИМОРФИЗМ ГРУПП КРОВИ ЯКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОКРАСА ШЕРСТИ И КОМОЛОСТИ

¹В.С. Деева, доктор биологических наук

¹А.С. Дуров, кандидат сельскохозяйственных наук

²Р.Б. Чысыма, доктор биологических наук

³Б.М. Луду, кандидат биологических наук

³Е.Е. Кузьмина, кандидат биологических наук

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск Новосибирской обл., Россия

²Государственное бюджетное научное учреждение Республики Тыва Центр биосферных исследований, Кызыл, Россия

³Тувинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Кызыл, Россия

E-mail: animal@sfsca.ru

Ключевые слова: окраска, комолость, як, матка, бык, антиген, система крови.

Реферат. Яки Республики Тыва характеризуются высоким биологическим разнообразием, выраженным широкой гаммой окраски туловища и полиморфизмом групп крови. По распределению масти и полиморфных систем крови у быков и маток яков наиболее характерными окрасками являются черная, черно-пестрая, коричневая, их частота в популяции составляет 0,403; 0,148 и 0,118 соответственно. Животные других расцветок окраски встречались с частотой от 0,004 до 0,091. Дифференциация яков-быков и маток по наличию рогов или их отсутствию показала, что у комолых быков и маток частота маркеров Q, L', F систем крови B, C, F-V выше (от 0,250 до 0,846), чем у рогатых (0,100–0,500). Маркеры крови R₂, W, X₁, U' систем C, S выявлены у комолых быков и маток с частотой 0,018–0,143, которых не оказалось у рогатых быков и маток. Частота антигенов крови G₂, T₂, I₂, E'₂, Y', J₂ систем B, J выше у рогатых быков и маток (от 0,200 до 0,800), чем у комолых особей (0,054–0,464), а S₁ системы крови S выявлен только у рогатых маток. Маркеры крови I₁, Y₂, R₂, W, X₁, U' систем B, C, S не выявлены у рогатых быков и маток. У комолых и рогатых быков выше частота генов E'₂, E, X₂, V, Z систем крови B, C, F-V, Z, они выявлены с частотой от 0,333 до 1,000 независимо от масти. Комолые быки серой масти не имеют маркеров A₂, G₂, I₁, O₂, Y', Y₂, Q', Y', X₁ систем крови A, B, C, а коричневой окраски – A₂, O₂, Q', F, U, U' систем крови A, B, F-V, S, но у комолых быков с черной и коричневой окраской выявлены антигены крови I₁, X₁, которые отсутствуют у рогатых особей с различной мастью. У яков отмечены статистически значимые отличия по окраске, комолости и антигенам A₂, G₂, I₁, I₂, Q, T₂, E'₂, I', Y', R₂, W, X₁, X₂, L', F, V, J₂, H', U, U', Z.

POLYMORPHISM OF YAK BLOOD GROUPS DEPENDING ON COAT COLOR AND COLLECTION

¹V.S. Deeva, Doctor of Biological Sciences

¹A.S. Durov, PhD in Agricultural Sciences

²R.B. Chisyma, Doctor of Biological Sciences

³B.M. Ludu, PhD in Biological Sciences

³E.E. Kuzmina, PhD in Biological Sciences

¹Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies RAS, r.p. Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

²State budgetary scientific institution of the Republic of Tyva Center for Biosphere Research, Kyzyl, Russia

³Tuva Research Institute of Agriculture, Kyzyl, Russia

E-mail: animal@sfsca.ru

Keywords: colouring, polledness, yak, uterus, bull, antigen, blood system.

Abstract. Yaks of the Republic of Tyva are characterised by high biological diversity, expressed by a wide range of body colours and polymorphism of blood groups. According to the distribution of colour and polymorphic blood systems in bulls and yak dams, the most characteristic colours are black, black-and-white, and brown; their frequency in the population is 0.403, 0.148 and 0.118, respectively. Animals of other colour patterns were

encountered with a frequency ranging from 0.004 to 0.091. Differentiation of yak bulls and dams by the presence or absence of horns showed that in polled bulls and dams, the frequency of markers Q, L', F of the blood systems B, C, F-V is higher (from 0.250 to 0.846) than in horned ones (0.100–0.500). Blood markers R2, W, X1, U' systems C, and S were identified in polled bulls and dams with a frequency of 0.018–0.143, not found in horned bulls and dams. The frequency of blood antigens G2, T2, I2, E'2, Y', J2 of systems B, J is higher in horned bulls and dams (from 0.200 to 0.800) than in polled individuals (0.054–0.464), and S1 of blood system S was detected only in horned queens. Blood markers I1, Y2, R2, W, X1, and U' systems B, C, and S were undetected in horned bulls and dams. In polled and horned bulls, the frequency of genes E'2, E, X2, V, Z of blood systems B, C, F-V, and Z is higher; they are detected with a frequency of 0.333 to 1.000, regardless of colour. Polled bulls of grey colour do not have markers A2, G2, I1, O2, Y', Y2, Q', Y', X1 blood systems A, B, C, and brown colour - A2, O2, Q', F, U, U' blood systems A, B, F-V, S. Still, in polled bulls with black and brown colours, blood antigens I1, X1 were identified, which are absent in horned individuals of different colours. In yaks, statistically significant differences were noted in colour, polledness and antigens A2, G2, I1, I2, Q, T2, E'2, I', Y', R2, W, X1, X2, L', F, V, J2, H', U, U', Z.

Сохранение и охрана генетических ресурсов для любой страны является основой спасения уникальных и находящихся под угрозой исчезновения местных пород и аборигенных популяций, которые являются источником генетического разнообразия для настоящего и будущего развития живой природы [1, 2].

Разработка учеными ведущих научно-исследовательских учреждений Россельхозакадемии федеральной программы «Сохранение генофонда малочисленных пород сельскохозяйственных животных на 1995–2005 гг.» заложила основу, в которой были определены главные цели и задачи сохранения отечественного генофонда, ресурсное обеспечение и механизм реализации [3].

Яки в силу своих биологических особенностей, приспособленности к суровым природно-климатическим условиям и выносливости успешно осваивают высокогорные пастбища, недоступные другим видам домашних животных, и позволяют получать от них разнообразную продукцию. Разведением яков занимаются в Бурятии, Хакасии, Тыве, на Алтае и Якутии, Кавказе. Приручение дикого яка ведется с древних времен [4–6].

В суровых природно-климатических условиях Республики Тыва разведение яков является одной из ведущих отраслей животноводства. Реализацию генетического потенциала животных обеспечивают альпийские и субальпийские пастбища, уровень технологических процессов и организация труда в хозяйстве, приспособленность к круглогодичному пастбищному содержанию с незначительной подкормкой в зимнее время, что обеспечивает низкую себестоимость производимой продукции [5].

В 2021 г. зарегистрирован новый тип яков бай-талский Республики Тыва. Признание экотипов яков, которые разводят в условиях хозяйств республики, будет иметь большое

экономическое значение для развития животноводства [7].

Популяции яков в хозяйствах Республики Тыва имеют оттенки окраски от черной до белой, характерные для культурных пород, что говорит о влиянии человеческого фактора, а также о приспособленности организма яков к суровым условиям обитания и уровне племенной работы. Масть имеет биологическую связь с температурной регуляцией организма и имеет весьма существенное значение для общей характеристики животных [5, 8].

Использование иммуногенетического метода для выявления полиморфизма групп крови в раскрытии генофонда животных позволяет вести селекцию животных на более высоком уровне. Группы крови позволяют получить характеристику каждого животного, выявить его особенности, установить сходство и различия пород, вести контроль происхождения племенных особей, который приобретает особую значимость в селекционно-племенной работе со стадом при искусственном осеменении сельскохозяйственных животных с целью повышения продуктивности, выявления племенной ценности выдающихся быков-производителей, работающих в стаде, и отбора продолжателей [9].

Ряд авторов исследовали генофонд по группам крови яков Монголии, Бурятии, Киргизии, Прибайкалья, Таджикистана и буйволов, принадлежащих к другому роду подсемейства, и выявили свои особенности, сходство и различия между популяциями по частоте встречаемости антигенов крови. Наши исследования по якам, разводимым в условиях Республики Тыва, дополняют данные, полученные в других регионах [4, 9–13].

Особый интерес представляет исследование связи антигенов крови яков с окрасом шерсти, наличием или отсутствием у них рогов.

При анализе частот антигенов групп крови улучшенного зебувидного скота горной зоны Республики Таджикистан исследователи обнаружили различия между группами животных с различной окраской волосяного покрова [14, 15].

У домашних животных наблюдается широкий спектр окраски шерсти – от черной до красной, от желтой до белой с различными оттенками и наличием «звёздочек», отсутствующих у диких видов особей. В естественных условиях такие варианты могут быть связаны с пониженной жизнеспособностью. У домашних особей культурных пород по сравнению с дикими формами наблюдается широкая гамма оттенков окраски и её изменчивость. Однако domestикация не сопровождается уменьшением способности к адаптации к новым условиям среды, а также не приводит к полной зависимости существования вида от человека. С точки зрения адаптационной способности яков к климатическим условиям Республики Тыва представляет определённый интерес вопрос частоты встречаемости антигенов крови с учетом разнообразия мастей животных, не объединяемых по оттенкам [16–19].

В популяции яка Северной Америки получены данные о детерминации генетических систем (гаплотипов) и окраски, что способствует накоплению данных о процессах в стадах оцениваемых животных [20].

В этом аспекте проведен анализ взаимосвязи окраса волосяного покрова животных, в частности яков Республики Тыва, а также наличия или отсутствия рогов с носительством определенных антигенов групп крови.

Исследование окраски яков показало широкое разнообразие – от черного до белого цвета. Животных по окраске шерсти можно разделить на три группы: первая – черная и черно-пестрая; вторая – серая, белая, светлая и пестрая; третья – бурая, коричневая и пестро-бурая [21].

Целью настоящих исследований является оценка полиморфизма групп крови в связи с изменчивостью окраски шерсти и комолости (рогатости) тувинского яка. Результаты исследований были использованы при форомирвании нового типа тувинского яка бай-талский.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Научные исследования проведены в яководческих хозяйствах «Бай-Тал» и «Тоолайлыг-Кашпал» Республики Тыва на поголовье яков породы сарлык. Проанализирован генофонд по группам крови яка различных популяций. Для написания работы были использованы собственные исследования по оценке генофонда тувинского яка.

По результатам паспортизации племенных животных выявили частоту антигенов нескольких генетических систем крови. Группы крови определяли гемолитическими тестами [22].

Биометрическая обработка проведена по общепринятой методике [23–25].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Яки Республики Тыва характеризуются широкой гаммой окраски шерсти туловища – от коричневого до белого цвета. В табл. 1 представлены данные по распределению масти у быков и маток яков Республики Тыва. Наиболее характерная окраска у яков – черная, черно-пестрая, коричневая, их частота в популяции составляет 0,403; 0,148 и 0,118 соответственно. Животные другой окраски встречались с частотой от 0,004 до 0,091.

Таблица 1

Распределение окраски яков Республики Тыва
Colour distribution of yaks in the Republic of Tuva

Масть	Группа		Всего (n = 263)
	быки (n = 113)	матки (n = 150)	
1	2	3	4
Коричневая	0,088±0,021	0,140±0,028	0,118±0,020
Черная	0,416±0,056	0,393±0,040	0,403±0,030
Черно-пестрая	0,133±0,033	0,160±0,030	0,148±0,022
Серая	0,080±0,026	0,100±0,024	0,091±0,018

1	2	3	4
Белая	0,062±0,023	0,067±0,020	0,065±0,015
Черная с белой головой	0,062±0,023	0,067±0,020	0,061±0,015
Светлая	-	0,020±0,011	0,011±0,007
Мышастая	0,018±0,012	-	0,008±0,005
Светло-коричневая	0,097±0,029	-	0,042±0,012
Палевая	0,018±0,012	-	0,008±0,005
Коричнево-пестрая	0,027±0,015	0,033±0,015	0,030±0,011
Белая с черными пятнами	-	0,007±0,007	0,004±0,004
Черная с белым лбом	-	0,007±0,007	0,004±0,004
Коричневая с белой головой	-	0,007±0,007	0,004±0,004

В поголовье яков-быков выявлены мышастая, светло-коричневая, палевая масти, которых не оказалось у маток, но у быков отсутствуют такие типы окраски, как белая с черными пятнами, черная с белым лбом, коричневая с белой головой. Достоверных различий между яками и ячихами по частоте масти не установлено.

Наблюдается большее количество быков и маток коричневой, черной, черно-пестрой и серой окраски, чем особей белой и черной с белой головой (табл. 2, 3). В популяции быков-яков частота антигенов X_2 , V, Z систем крови C, F-V, Z независимо от окраски составила от 0,667 до 1,000, несколько ниже показатели частот маркеров крови G_2 , E'_2 , E, R_2 , L', H' системы B, C, S – 0,136–1,000. Наблюдаются достоверные отличия ($P \geq 0,95$) от стада по антигенам X_1 , X_2 у яков-быков коричневой окраски, по антигенам R_2 , X_2 – белой, U – черной.

Следует отметить высокую частоту маркера крови V системы F-V у яков-быков, среда обитания которых в высокогорных труднодоступных территориях, приспособленных к суровым климатическим условиям среды, очевидно, положительно связана с адаптацией организма животных. Данное положение было отмечено и в исследованиях, проведенных ранее на яках Бурятии [4].

В поголовье маток, как и быков, больше численность животных коричневой, черной, черно-пестрой и серой окраски – от 15 до 59 голов по сравнению с животными белой, черной с белой головой и светлой окраски – 3–10 (см. табл. 3). Встречаемость маркеров X_2 , L', V, Z систем крови C, F-V, Z независимо от окраски

– в пределах от 0,600 до 1,000. Частота маркеров крови Q, X_1 , F, H' систем B, C, F-V, S несколько ниже – 0,190 (Q) – 1,000 (F). Частота других маркеров крови яков с учетом окраски шерсти варьирует, некоторые гены выявлены, другие отсутствуют.

У маток коричневой окраски отмечено достоверное отличие по антигену I_2 ; черной – I_2 , H'; черно-пестрой – I_2 , E'_2 , F; серой – X_2 ; белой – A_2 , L', V; черной с белой головой – A_2 , I_2 , X_1 , H'; светлой – X_2 , L', F, V. Можно предположить наличие особенностей естественного отбора по системам крови в зависимости от окраски.

Результаты анализа полиморфизма крови яков-быков с учетом отсутствия (комолые) и наличия рогов (рогатые) хозяйства «Байталское» приведены в табл. 4. Маркеры E'_2 , E, R_2 , X_2 , V, Z систем крови B, C, F-V, Z независимо от того, комолые яки или рогатые, выявлены с частотой от 0,433 до 1,000, значительно ниже показатели встречаемости генов G_2 , Y_2 , H' систем крови B, S – 0,133–0,233. Сравнение частот встречаемости антигенов крови с учетом комолости и наличия рогов у яков-быков показывает, что у комолых животных выше показатели B_2 , G_2 , W, Z систем крови B, C, Z (от 0,154 до 0,615), чем у рогатых (0,033–0,433). У рогатых особей маркеры R_2 , X_2 системы крови C выявлены с частотой от 0,833 до 0,867 против 0,538–0,692 у комолых. У комолых быков не выявлены маркеры A_2 , O_2 , Q', Y', систем крови A, B, которые встречаются у рогатых с частотой 0,033–0,067, а антиген F системы крови F-V отсутствует у рогатых животных.

Таблица 2

Частота антигенов крови яков-быков в зависимости от окраски
Frequency of blood antigens in bull yak depending on color

Сис- тема	Анти- ген	Окраска шерсти						По стаду (n = 109)
		коричневая (n = 22)	чёрная (n = 46)	чёрно-пёстрая (n = 15)	серая (n = 13)	белая (n = 7)	чёрная с белой головой (n = 6)	
A	A ₂	0,182±0,082	0,043±0,030	0,200±0,103	0,154±0,100	-	-	0,101±0,029
	B ₂	0,273±0,095	0,065±0,036	-	0,077±0,074	-	-	0,092±0,028
	G ₂	0,182±0,082	0,261±0,065	0,267±0,114	0,154±0,100	0,143±0,132	0,500±0,204	0,239±0,041
	I ₁	0,045±0,044	0,065±0,036	0,067±0,064	-	-	0,167±0,152	0,055±0,022
	I ₂	0,091±0,061	0,174±0,056	0,333±0,122	0,077±0,074	0,571±0,187	0,500±0,204	0,211±0,039
	O ₂	0,045±0,044	0,022±0,022	0,067±0,064	0,077±0,074	-	-	0,037±0,018
	Q	0,182±0,082	0,239±0,063	0,600±0,126	0,385±0,135	-	0,333±0,192	0,284±0,043
	Y ₂	0,364±0,103	0,130±0,050	0,067±0,064	0,077±0,074	0,143±0,132	-	0,156±0,035
B	E' ₂	0,591±0,105	0,457±0,073	0,267±0,114	0,308±0,128	0,714±0,171	0,333±0,192	0,450±0,048
	I'	0,091±0,061	0,022±0,022	0,067±0,064	-	0,143±0,132	0,167±0,152	0,055±0,022
	Q'	-	0,065±0,036	-	-	0,143±0,132	-	0,037±0,018
	Y'	0,091±0,061	0,087±0,042	0,133±0,088	0,077±0,074	-	0,333±0,192	0,101±0,029
	E	0,455±0,106	0,326±0,069	0,333±0,122	0,692±0,128	0,143±0,132	0,333±0,192	0,385±0,047
	R ₂	0,591±0,105	0,457±0,073	0,200±0,103	0,462±0,138	0,429±0,187*	0,167±0,152	0,431±0,047
	W	0,091±0,061	0,087±0,042	0,067±0,064	-	0,143±0,132	-	0,073±0,025
	X ₁	0,136±0,073*	0,109±0,046	0,200±0,103	0,231±0,117	-	0,167±0,152	0,138±0,033
C	X ₂	0,864±0,073*	0,870±0,050	0,800±0,103	1,000±0,000	0,857±0,132*	0,667±0,192	0,862±0,033
	L'	0,136±0,073	0,304±0,068	0,667±0,122	0,385±0,135	0,714±0,171	1,000±0,000	0,394±0,047
	F	-	0,196±0,058	0,533±0,129	0,231±0,117	0,143±0,132	0,333±0,192	0,211±0,039
	V	1,000±0,000	0,870±0,050	0,733±0,114	1,000±0,000	0,857±0,132	0,833±0,152	0,890±0,030
F-V	H'	0,136±0,073	0,196±0,058	0,400±0,126	0,308±0,128	0,286±0,171	0,500±0,204	0,248±0,041
	U	-	0,065±0,036*	0,133±0,088	-	0,143±0,132	0,167±0,152	0,064±0,023
	U'	-	0,022±0,022	0,133±0,088	-	0,143±0,132	-	0,037±0,018
	H''	0,136±0,073	0,130±0,050	-	-	0,286±0,171	-	0,101±0,029
S	Z	0,773±0,089	0,674±0,069	1,000±0,000	0,846±0,100	1,000±0,000	1,000±0,000	0,798±0,038

Примечание: Здесь и далее: «-» антиген не выявлен; *P≥0,95; **P≥0,99; ***P≥0,999.

Note: Here and below: “-” antigen not detected; *P≥0,95; **P≥0,99; ***P≥0,999.

Таблица 3

Частота антигенов крови яков-маток в зависимости от окраски шерсти
Frequency of blood antigens in dam yaks depending on coat color

система	антиген	Окраска шерсти							По выборке (n = 142)
		коричневая (n = 21)	черная (n = 59)	чёрно-пёстрая (n = 24)	серая (n = 15)	белая (n = 10)	чёрная с белой головой (n = 10)	светлая (n = 3)	
A	A ₂	0,286±0,099	0,424±0,064	0,292±0,093	0,400±0,126	0,100±0,095*	0,100±0,095*	0,667±0,272	0,338±0,04
	B ₂	0,238±0,093	0,068±0,033	0,083±0,056	0,133±0,088	-	0,100±0,095	-	0,099±0,025
	G ₂	0,429±0,108	0,220±0,054	0,292±0,093	0,200±0,103	0,400±0,155	0,300±0,145	-	0,275±0,037
	I ₁	0,190±0,086	0,051±0,029	0,083±0,056	0,067±0,064	0,200±0,126	0,300±0,145	-	0,106±0,026
	I ₂	0,476±0,109*	0,153±0,047*	0,083±0,056**	0,333±0,122	0,400±0,155	0,600±0,155*	-	0,254±0,037
	O ₂	0,048±0,046	0,085±0,036	0,125±0,068	-	0,100±0,095	-	-	0,070±0,021
	Q	0,190±0,086	0,271±0,058	0,292±0,093	0,400±0,126	0,400±0,155	0,400±0,155	0,333±0,272	0,296±0,038
B	Y ₂	-	0,034±0,024	-	-	-	0,100±0,095	-	0,021±0,012
	A' ₂	0,048±0,046	-	-	0,067±0,064	-	0,100±0,095	-	0,021±0,012
	E' ₂	0,524±0,109	0,356±0,062	0,167±0,076*	0,400±0,126	0,200±0,126	0,400±0,155	-	0,338±0,04
	I'	0,095±0,064	0,102±0,039	0,125±0,068	0,133±0,088	0,100±0,095	0,200±0,126	-	0,113±0,027
	K'	-	0,034±0,024	0,042±0,041	0,067±0,064	-	-	-	0,028±0,014
	O'	0,143±0,076	0,051±0,029	0,042±0,041	-	-	0,100±0,095	-	0,056±0,019
	Q'	0,048±0,046	0,085±0,036	0,083±0,056	0,067±0,064	-	-	-	0,063±0,02
	Y'	0,048±0,046	0,085±0,036	0,042±0,041	0,067±0,064	0,100±0,095	-	-	0,063±0,02
	G''	-	0,017±0,017	0,042±0,041	-	-	0,100±0,095	-	0,021±0,012
	E	0,286±0,099	0,153±0,047	0,167±0,076	0,267±0,114	0,200±0,126	0,300±0,145	-	0,197±0,033
C	R ₂	0,286±0,099	0,356±0,062	0,333±0,096	0,533±0,129	0,300±0,145	0,200±0,126	-	0,338±0,04
	W	0,048±0,046	0,102±0,039	0,083±0,056	-	-	0,100±0,095	-	0,070±0,021
	X ₁	0,429±0,108	0,610±0,063	0,625±0,099	0,6±0,126	0,400±0,155	0,200±0,126**	0,667±0,272	0,542±0,042
	X ₂	0,714±0,099	0,881±0,042	0,917±0,056	1,000±0,000***	0,800±0,126	0,900±0,095	1,000±0,000***	0,873±0,028
	L'	0,810±0,086	0,678±0,061	0,792±0,083	0,667±0,122	1,000±0,000***	0,600±0,155	1,000±0,000***	0,739±0,037
	F	0,381±0,106	0,576±0,064	0,750±0,088*	0,533±0,129	0,300±0,145	0,400±0,155	1,000±0,000***	0,549±0,042
F-V	V	0,952±0,046	0,864±0,045	0,917±0,056	0,800±0,103	1,000±0,000***	0,800±0,126	1,000±0,000***	0,887±0,027
M	M	0,048±0,046	-	-	0,067±0,064	-	0,100±0,095	-	0,021±0,012
S	S ₁	-	0,017±0,017	-	-	-	-	-	0,007±0,007
	H'	0,333±0,103	0,644±0,062**	0,417±0,101	0,533±0,129	0,300±0,145	0,200±0,126*	0,333±0,272	0,486±0,042
	U	0,048±0,046	0,085±0,036	-	0,067±0,064	-	0,100±0,095	-	0,056±0,019
	U'	0,048±0,046	0,034±0,024	-	0,067±0,064	-	-	-	0,028±0,014
	H''	-	0,017±0,017	-	-	-	-	-	0,007±0,007
Z	Z	1,000±0,000	1,000±0,000	1,000±0,000	1,000±0,000	1,000±0,000	1,000±0,000	1,000±0,000	1,000±0,000

Таблица 4

Частота встречаемости антигенов крови у комолых и рогатых яков
Frequency of occurrence of blood antigens in polled and horned yaks

Система	Антиген	Быки	
		комолые (n = 13)	рогатые (n = 30)
A	A ₂	-	0,067±0,046
B	B ₂	0,308±0,128	0,067±0,046
	G ₂	0,231±0,117	0,133±0,062
	O ₂	-	0,033±0,033
	Y ₂	0,231±0,117	0,233±0,077
	E' ₂	0,692±0,128	0,633±0,088
	Q'	-	0,067±0,046
	Y'	-	0,033±0,033
C	E	0,538±0,138	0,467±0,091
	R ₂	0,538±0,138	0,833±0,068
	W	0,154±0,100	0,033±0,033
	X ₂	0,692±0,128	0,867±0,062
F-V	F	0,077±0,074	-
	V	1,000±0,000	1,000±0,000
S	H"	0,231±0,117	0,233±0,077
Z	Z	0,615±0,135	0,433±0,090

Следует отметить, что все яки-быки – и комолые, и рогатые, являются носителями антигена V системы крови F-V, по данной системе крови 92,3% животных являются носителями гомозиготного генотипа V/V, за исключением незначительной части комолых быков – носителей антигена F, частота которого на уровне 0,077. Достоверных отличий по группам крови комолых и рогатых быков не установлено.

Ряд антигенов: I₁, I₂, Q, I', O', G", X₁, L', M, S₁, H', U, U' – систем крови B, C, M, S не выявлены ни у комолых, ни у рогатых быков. С целью экономии места данные маркеры не приводятся в табл. 4.

Яки-быки (комолые и рогатые) – носители антигенов E'₂, E, X₂, V, Z систем крови B, C, F-V, Z выявлены с частотой от 0,333 до 1,000. Следует отметить, что маркер Z чаще встречается у комолых быков – 0,889–0,909, чем у рогатых, – 0,500–0,857 независимо от масти (табл. 5). У комолых яков факторы крови I₁, X₁ систем B, C выявлены только у животных с черной и коричневой окраской, их частота

составила 0,063–0,156, но их не оказалось у рогатых.

У рогатых яков-быков частота встречаемости генов E'₂, R₂, H" систем крови B, C, S (от 0,143 до 0,714) выше, чем у комолых (0,063–0,636), независимо от масти. Антигенов Q, I', W, F, H' систем крови B, C, F-V не оказалось у серых и коричневых рогатых быков.

Среди комолых быков с антигенами G₂, I₁, Y₂ системы крови B не оказалось особей серой масти, а Y' отсутствует у комолых и рогатых быков серой окраски, O₂ выявлен только у комолых быков черной масти и рогатых особей коричневой окраски с частотой 0,063–0,111 соответственно, у рогатых быков коричневой масти не выявлены антигены I₂, T₂, L' систем крови B, C.

Отмечены достоверные (P≥0,95–0,999) различия между комолыми и рогатыми быками чёрной масти по антигенам Q, R₂, L', F, H', Z, серой масти – L', коричневой – X₂.

Таблица 5

Частота антигенов крови комолых и рогатых яков-быков с учётом масти
Frequency of blood antigens in polled and horned yak bulls, taking into account colour

Сис-тема	Анти-ген	Окраска шерсти					
		чёрная		серая		коричневая	
		комолые (n = 32)	рогатые (n = 24)	комолые (n = 9)	рогатые (n = 7)	комолые (n = 11)	рогатые (n = 9)
A	A ₂	-	-	-	-	-	0,222±0,139
B	B ₂	0,031±0,031	-	-	-	0,273±0,134	0,222±0,139
	G ₂	0,375±0,086	0,292±0,093	-	0,286±0,171	0,182±0,116	0,222±0,139
	I ₁	0,156±0,064	-	-	-	0,091±0,087	-
	I ₂	0,375±0,086	0,167±0,076	0,333±0,157	0,286±0,171	0,182±0,116	-
	O ₂	0,063±0,043	-	-	-	-	0,111±0,105
	Q	0,406±0,087***	0,042±0,041	0,333±0,157	-	0,182±0,116	-
	T ₂	0,063±0,043	0,042±0,041	0,111±0,105	0,143±0,132	0,091±0,087	-
	Y ₂	0,094±0,052	0,042±0,041	-	0,286±0,171	0,273±0,134	0,444±0,166
	E' ₂	0,438±0,088	0,542±0,102	0,333±0,157	0,714±0,171	0,636±0,145	0,667±0,157
	I'	0,063±0,043	0,042±0,041	0,111±0,105	-	0,182±0,116	-
	Q'	-	0,042±0,041	-	0,143±0,132	-	-
	Y'	0,156±0,064	0,125±0,068	-	-	0,091±0,087	0,111±0,105
C	E	0,375±0,086	0,333±0,096	0,556±0,166	0,571±0,187	0,455±0,150	0,556±0,166
	R ₂	0,094±0,052***	0,625±0,099	0,222±0,139	0,571±0,187	0,455±0,150	0,667±0,157
	W	0,094±0,052	0,042±0,041	0,111±0,105	-	0,182±0,116	-
	X ₁	0,063±0,043	-	-	-	0,091±0,087	-
	X ₂	0,844±0,064	0,917±0,056	0,889±0,105	1,000±0,000	1,000±0,000*	0,667±0,157
	L'	0,719±0,079***	0,125±0,068	0,778±0,139*	0,286±0,171	0,273±0,134	-
F-V	F	0,344±0,084**	0,042±0,041	0,111±0,105	-	-	-
	V	0,750±0,077	0,875±0,068	0,889±0,105	1,000±0,000	1,000±0,000	1,000±0,000
S	H'	0,313±0,082**	0,042±0,041	0,222±0,139	-	0,091±0,087	-
	U	0,125±0,058	0,083±0,056	0,111±0,105	-	-	-
	U'	0,094±0,052	-	0,111±0,105	-	-	-
	H''	0,063±0,043	0,167±0,076	0,111±0,105	0,143±0,132	0,091±0,087	0,222±0,139
Z	Z	0,906±0,052***	0,500±0,102	0,889±0,105	0,857±0,132	0,909±0,087	0,556±0,166

Анализ частот маркеров крови быков и маток, дифференцированных на комолых и рогатых, показал широкий полиморфизм антигенов у комолых животных хозяйства «Тоолайлых–Кашпал» Республики Тыва (табл. 6). Антигены I₂, E'₂, X₂, L', V, Z систем крови B, C, F-V, Z выявлены с частотой от 0,200 до 1,000 независимо от того, комолые животные или рогатые, кроме маркеров L' и Z, которые отсутствуют у

рогатых, а частота антигенов Y', J₂, H', U систем крови B, J, S несколько ниже – 0,100–0,800.

У комолых быков частота встречаемости маркеров Q, L', F, H' систем крови B, C, F-V, S выше – от 0,282 до 0,846, тогда как у рогатых животных ниже – 0,100 – 0,500, а маркеры O₂, R₂, W, X₁, U', H'' систем крови B, C, S выявлены с частотой 0,026–0,103, которых не оказалось у рогатых быков.

Частота антигенов G_2 , T_2 , I_2 , E'_2 , Y' , J_2 систем крови В, J у рогатых быков (от 0,200 до 0,700) выше, чем у комолых (0,103–0,436).

Достоверные отличия между комолыми и рогатыми яками хозяйства «Тоолайлыг-Кашпал» отмечены по частотам антигенов крови G_2 , T_2 , Q , I_2 , E'_2 , I' , Y' , X_2 , L' , F , V , J_2 , M , H' , U ($P \geq 0,95$ – $0,999$).

При анализе частот генов крови комолых и рогатых маток наблюдаем широкий полимор-

физм антигенов у комолых. Поголовье животных в основном состоит из комолых животных, а число рогатых ограничено. У рогатых маток частота встречаемости некоторых маркеров крови выше, чем у комолых. Антиген S1 системы крови S выявлен только у рогатых маток. Антигены I_1 , Y_2 , R_2 , W , X_1 , U' систем крови В, С, S не выявлены у рогатых быков и маток.

Таблица 6

Частота встречаемости антигенов крови комолых и рогатых яков в хозяйстве «Тоолайлыг-Кашпал»
Frequency of occurrence of blood antigens of polled and horned yaks on the farm "Toolailykh-Kashpal"

Система	Антиген	Быки		Матки	
		комолые (n = 39)	рогатые (n = 10)	комолые (n = 56)	рогатые (n = 5)
A	A_1	-	-	-	-
B	B_2	-	-	$0,054 \pm 0,030$	-
	G_2	$0,282 \pm 0,072^{***}$	$0,700 \pm 0,145$	$0,393 \pm 0,065^{***}$	$0,400 \pm 0,219$
	O_2	$0,051 \pm 0,035$	-	$0,018 \pm 0,018$	$0,200 \pm 0,179$
	T_2	$0,103 \pm 0,049^*$	$0,200 \pm 0,126$	$0,054 \pm 0,030^*$	$0,400 \pm 0,219$
	Q	$0,462 \pm 0,08^{***}$	$0,100 \pm 0,095$	$0,357 \pm 0,064^{**}$	$0,200 \pm 0,179$
	I_1	$0,154 \pm 0,058$	-	$0,125 \pm 0,044$	-
	I_2	$0,436 \pm 0,079^{***}$	$0,600 \pm 0,155$	$0,464 \pm 0,067^{***}$	$0,800 \pm 0,179$
	Y_2	$0,077 \pm 0,043$	-	$0,018 \pm 0,018$	-
	E'_2	$0,385 \pm 0,078^{***}$	$0,500 \pm 0,158$	$0,446 \pm 0,066^{***}$	$0,800 \pm 0,179$
	K'	-	-	$0,054 \pm 0,030$	-
	I'	$0,128 \pm 0,054^*$	$0,100 \pm 0,095$	$0,125 \pm 0,044$	-
	Y'	$0,154 \pm 0,058^{**}$	$0,300 \pm 0,145$	$0,161 \pm 0,049^*$	$0,400 \pm 0,219$
	P_2	-	-	$0,018 \pm 0,018$	-
	G''	-	-	$0,071 \pm 0,034$	$0,200 \pm 0,179$
C	E	$0,385 \pm 0,078$	$0,300 \pm 0,145$	$0,357 \pm 0,064$	-
	R_2	$0,077 \pm 0,043$	-	$0,018 \pm 0,018$	-
	W	$0,103 \pm 0,049$	-	$0,125 \pm 0,044$	-
	X_1	$0,077 \pm 0,043$	-	$0,143 \pm 0,047$	-
	X_2	$0,949 \pm 0,035^{***}$	$0,900 \pm 0,095$	$0,786 \pm 0,055^{***}$	$0,200 \pm 0,179$
	L'	$0,846 \pm 0,058^{***}$	$0,500 \pm 0,158$	$0,821 \pm 0,051$	-
F-V	F	$0,282 \pm 0,072^{**}$	$0,100 \pm 0,095$	$0,250 \pm 0,058$	-
	V	$0,769 \pm 0,067^{***}$	$0,700 \pm 0,145$	$0,732 \pm 0,059^{***}$	$0,200 \pm 0,179$
J	J_2	$0,282 \pm 0,072^{***}$	$0,400 \pm 0,155$	$0,393 \pm 0,065^{***}$	$0,800 \pm 0,179$
M	M	-	-	$0,036 \pm 0,025^{**}$	$0,600 \pm 0,219$
S	S_1	-	-	-	$0,400 \pm 0,219$
	H'	$0,333 \pm 0,075^{***}$	$0,100 \pm 0,095$	$0,196 \pm 0,053^*$	$0,200 \pm 0,179$
	U	$0,128 \pm 0,054^*$	$0,200 \pm 0,126$	$0,161 \pm 0,049^*$	$0,400 \pm 0,219$
	U'	$0,103 \pm 0,049$	-	$0,089 \pm 0,038$	-
	H''	$0,026 \pm 0,025$	-	$0,018 \pm 0,018$	$0,200 \pm 0,179$
Z	Z	$1,000 \pm 0,000$	$1,000 \pm 0,000$	$1,000 \pm 0,000$	-

Из 61 головы рогатых яков-маток оказалось всего 5 особей, поэтому при сравнении выявленных маркеров крови у маток основное внимание уделено комолым (табл. 7). Следует

отметить, что у рогатых животных с черной мастью чаще встречаются антигены G_2 , I_2 , O_2 , T_2 , E'_2 , Y' , X_1 систем крови В, С – $0,250$ – $0,750$, чем у комолых этой же окраски – $0,069$ (X_1) –

0,483 (E'_2). Рогатых маток с серой мастью не оказалось.

Антигены X_2 , L' , V систем крови C , F - V выявлены у комолых с частотой 0,690–0,923 независимо от окраски. У них несколько реже встречаются гены G_2 , I_2 , Q , E'_2 , E , J_2 систем крови B , C , J – от 0,214 до 0,643, а частота факторов I_1 , K' , X_1 , H' , U , U' систем крови B , C , S составила 0,034–0,286.

У комолых маток с серой мастью не выявлены гены B_2 , I' , G'' , W , M систем крови B , C , M , маркеров крови O_2 , T_2 , Y_2 , R_2 , H'' , систем B , C , S не оказалось у комолых животных серой и коричневой окраски, а ген Z присутствует только у маток серой масти. Достоверных отличий не отмечено.

Таблица 7

Частота встречаемости антигенов крови комолых и рогатых яков-маток в зависимости от окраски
Frequency of occurrence of blood antigens in polled and horned dam yaks depending on color

Сис-тема	Анти-ген	Масть					
		чёрная		серая		коричневая	
		комолые (n=29)	рогатые (n = 4)	комолые (n = 13)	рогатые (n = 0)	комолые (n = 14)	рогатые (n = 1)
B	B_2	0,069±0,047	-	-	-	0,071±0,069	-
	G_2	0,379±0,090	0,500±0,250	0,385±0,135	-	0,429±0,132	-
	I_1	0,172±0,070	-	0,077±0,074	-	0,071±0,069	-
	I_2	0,414±0,091	0,500±0,250	0,462±0,138	-	0,571±0,132	1,000±0,000
	O_2	0,034±0,034	0,250±0,217	-	-	-	-
	Q	0,345±0,088	-	0,538±0,138	-	0,214±0,110	1,000±0,000
	T_2	0,103±0,057	0,500±0,250	-	-	-	-
	Y_2	0,034±0,034	-	-	-	-	-
	E'_2	0,483±0,093	0,750±0,217	0,308±0,128	-	0,500±0,134	1,000±0,000
	I'	0,103±0,057	-	-	-	0,286±0,121	-
	K'	0,034±0,034	-	0,077±0,074	-	0,071±0,069	-
	Y'	0,138±0,064	0,500±0,250	0,154±0,100	-	0,214±0,110	-
	G''	0,103±0,057	0,250±0,217	-	-	0,071±0,069	-
C	E	0,414±0,091	0,250±0,217	0,385±0,135	-	0,214±0,110	-
	R_2	0,034±0,034	-	-	-	-	-
	W	0,172±0,070	-	-	-	0,143±0,094	-
	X_1	0,069±0,047	0,250±0,217	0,154±0,100	-	0,286±0,121	-
	X_2	0,793±0,075	0,500±0,250	0,846±0,100	-	0,714±0,121	1,000±0,000
	L'	0,759±0,079	0,500±0,250	0,923±0,074	-	0,857±0,094	1,000±0,000
F-V	F	0,379±0,090	0,250±0,217	0,077±0,074	-	0,143±0,094	1,000±0,000
	V	0,690±0,086	0,250±0,217	0,769±0,117	-	0,786±0,110	-
J	J_2	0,345±0,088	0,250±0,217	0,231±0,117	-	0,643±0,128	1,000±0,000
M	M	0,034±0,034	-	-	-	0,071±0,069	-
S	H'	0,207±0,075	-	0,154±0,100	-	0,214±0,110	1,000±0,000
	U	0,207±0,075	-	0,077±0,074	-	0,143±0,094	-
	U'	0,069±0,047	-	0,077±0,074	-	0,143±0,094	1,000±0,000
	H''	0,034±0,034	-	-	-	-	-
Z	Z	-	1,000±0,000	1,000±0,000	-	-	1,000±0,000

ВЫВОДЫ

1. У яков Республики Тыва выявлены различные окраски и оттенки шерсти от черного до белого цвета. В популяции яков-быков и маток маркеры X_2 , L' , V , Z систем крови C , F - V , Z

чаще встречаются у животных с коричневой, черной, черно-пестрой и серой окраской (от 0,600 до 1,000), чем с белой, черной с белой головой и другими оттенками масти ($P \geq 0,95-0,99$).

2. Особое внимание следует обратить на высокую частоту маркера крови V системы F-V, который выявлен у яков независимо от окраски и пола в пределах 0,733–1,000, а также уровень гетерозиготного генотипа F/V системы F-V. Можно предположить, что данный ген положительно связан с адаптацией животных к условиям среды обитания.

3. Дифференциация яков-быков и маток по наличию рогов (рогатые) или их отсутствию (комолые) хозяйства «Тоолайлыг–Кашпал» (Республика Тыва) с учетом частот генов крови показала, что у комолых быков и маток частота маркеров Q, L', F, систем крови B, C, F-V, выше (от 0,250 до 0,846), чем у рогатых (0,100–0,500). Гены R₂, W, X₁, U' систем крови C, S выявлены у комолых быков и маток с частотой 0,018–0,143, которых не оказалось у рогатых быков

и маток. Частота антигенов G₂, T₂, I₂, E'₂, Y', J₂ систем B, J выше у рогатых быков и маток (от 0,200 до 0,800), чем у комолых особей (0,054–0,464). Антиген S1 системы крови S выявлен только у рогатых маток. Антигены I₁, Y₂, R₂, W, X₁, U' систем крови B, C, S не выявлены у рогатых быков и маток.

4. Выявление частот антигенов групп крови яков (комолых и рогатых) в зависимости от окраски позволяет констатировать, что одни маркеры встречаются в популяции с высокой частотой, другие – с низкой или отсутствуют.

5. В популяции яков отмечены статистически значимые отличия по антигенам A₂, G₂, I₁, I₂, Q, T₂, E'₂, I', Y', R₂, W, X₁, X₂, L', F, V, J₂, H', U, U', Z между группами оценённых животных по отношению к средней частоте по стаду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сохранение и рациональное использование генофонда отечественных пород* / И.А. Паронян, О.П. Юрченко, Н.Д. Филиппова, А.С. Смирнов // Зоотехния. – 2000. – № 8. – С. 25–27.
2. *Паронян И.А.* Современное состояние генофонда молочных и молочно-мясных пород крупного рогатого скота в Российской Федерации // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 6. – С. 79–83. – DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10615.
3. *Прохоренко П.Н., Паронян И.А.* Программа сохранения генетического фонда сельскохозяйственных животных России // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 1994. – № 1. – С. 22.
4. *Иммуногенетические* показатели крови высокогорных яков Бурятии / Н.О. Сухова, Э.Т. Матурова, В.С. Деева, Ю.М. Убеев // Доклады Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. В.И. Ленина. – 1983. – № 10. – С. 39.
5. *Чысыма Р.Б.* Генофонд тувинского яка: Сохранение и рациональное использование / Рос. акад. с.-х. наук. Сиб. регион. отд.-ние. Тув. НИИ сел. хоз-ва. – Новосибирск, 2009. – 210 с.
6. *Differential expression of skeletal muscle mitochondrial proteins in yak, dzo, and cattle: a proteomics-based study* / L. Long, Y. Zhu, Z. Li [et al.] // J Vet Med Sci. – 2020. – Aug 28; Vol. 82 (8). – P. 1178–1186. – DOI: 10.1292/jvms.19-0218. Epub 2020 Jul 9.
7. *Патент* на селекционное достижение 11905. Як домашний (Puerphagus grunniens. L.) Бай-Талский: №80582260: заявл. 11.11.2019, опубл. 10.09.2021. / С.М. Оюн, В.А. Солошенко, А.С. Дуров [и др.]. – Бюл. № 7(267).
8. *Аспекты дифференциации генофонда групп крови в популяциях мясного скота, яков и их гибридов* / С.И. Фарсыханов, Г.С. Лозовая, О.Ю. Головченко, А.М. Машуров, И.П. Заднепрмянский // Известия академии наук Таджикской ССР. Отделение биологических наук. – 1988. – № 2. – С. 52–56.
9. *Сороковой П.Ф., Букаров Н.Г., Загосурен Е.* Сравнительные исследования групп крови у местного монгольского скота, яков и их гибридов // Материалы народной конференции по группам крови и биохимическому полиморфизму животных. – Л.: ВНИИГРЖ, 1978. – С. 41.
10. *Сороковой П.Ф., Быковченко Ю.Г.* Видовые особенности антигенов групп крови крупного рогатого скота и яка // Вопросы биохимической генетики человека и сельскохозяйственных животных. – Самарканд, 1973. – С. 77–80.
11. *Использование групп крови для анализа генофонда яков, калмыцкого скота и их гибридов* / В.С. Яковлев, И.П. Заднепрмянский, А.Ф. Коркин, В.М. Шошин // Сельскохозяйственная биология. – 1985. – Т. 20, № 9. – С. 81–83.

12. Давыдов В.Н. Экологические основы расселения домашних и диких яков // Вестник Бурятского государственного университета. Биология. География. – 2012. – №4. – С. 130–132.
13. Сороковой П.Ф., Кязимов С.Б. Сравнительные иммуногенетические исследования групповых эритроцитарных антигенов у крупного рогатого скота и буйволов // Генетика. – 1969. – Т. 5, № 41. – С. 44–49.
14. Лозовая Г.С., Головченко О.Ю. Группы крови мясного и аборигенного скота горной зоны Таджикистана // Генетика. – 1985. – Т. 21, № 7. – С. 1225–1228.
15. Лозовая Г.С., Машуров А.М. Иммуногенетические показатели сходства и различия швицезебундского скота Таджикистана с другими популяциями подсемейства бычьих // Молекулярно генетические маркеры животных. – Киев, 1996. – С. 60–61.
16. Belyaev D.K., Plyusnina I.Z., Trut L.N. Domestication in the silver fox (*Vulpes fulvus* Desm): Changes in physiological boundaries of the sensitive period of primary socialization // Applied Animal Behaviour Science. – 1985. – Vol. 13, Is. 4. – P. 359–370.
17. Belyaev D.K., Trut L.N. Genetic interrelations of specific changes in standard coat color of silver foxes during and after domestication // Genetika. – 1986. – Vol. 22, N 1. – P. 119–128.
18. Глазко В.И. Доместикация как генетический феномен // Современные концепции эволюционной генетики. – Новосибирск, 2000. – С. 334–340.
19. Глазко В.И. Доместикация как генетический феномен // Доклады ТСХА. – 2006. – Вып. 279, ч. 1. – С. 318–321.
20. MC1R and KIT Haplotypes Associate With Pigmentation Phenotypes of North American Yak (*Bos grunniens*) / J.L. Petersen, T.S. Kalbfleisch, M. Parris [et al.] // J. Hered. – 2020. – Apr. 2, Vol. 111(2). – P. 182–193. – DOI: 10.1093/jhered/esz070.
21. Атлас номадных животных / В.А. Тайшин, Б.Б. Лхасаранов, Р. Джеймс [и др.]; Рос. акад. наук. Сиб. отд-ние. Байкал. ин-т природопользования. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – 283 с.
22. Матюшек Й. Группы крови у крупного рогатого скота. – Киев: Урожай, 1964. – 145 с.
23. Серебровский А.С. Генетический анализ. – М.: Наука, 1970. – 343 с.
24. Машуров А.М., Сухова Н.О. Фонд антигенов пород крупного рогатого скота и родственных ему видов. – Новосибирск, 1994. – 125 с.
25. Группы крови крупного рогатого скота и их использование в селекционной работе: метод. рекомендации / Н.О. Сухова, В.С. Деева, И.Н. Лепехин, Д.В. Говорухин. – Новосибирск, 1992. – 48 с.

REFERENCES

1. Paronjan I.A., Jurchenko O.P., Filippova N.D., Smirnov A.S., Zootehnija, 2000, No. 8, pp. 25–27. (In Russ.)
2. Paronjan I.A., Dostizhenija nauki i tehniki APK, 2020, T. 34, No. 6, pp. 79–83, DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10615. (In Russ.)
3. Prohorenko P.N., Paronjan I.A., Vestnik Rossijskoj akademii sel'skohoz'jajstvennyh nauk, 1994, No. 1, pp. 22. (In Russ.)
4. Suhova N.O., Maturova Je.T., Deeva V.S., Ubeev Ju.M., Doklady Vsesojuznoj akademii sel'skohoz'jajstvennyh nauk im. V.I. Lenina, 1983, No. 10, pp. 39. (In Russ.)
5. Chysyma R.B., Genofond tuvinskogo jaka: Sohranenie i racional'noe ispol'zovanie (Gene pool of the Tuvan yak: Conservation and rational use), Novosibirsk, 2009, 210 p.
6. Long L., Zhu Y., Li Z. [et al.], Differential expression of skeletal muscle mitochondrial proteins in yak, dzo, and cattle: a proteomics-based study, J Vet Med Sci., 2020, Aug 28; Vol. 82 (8), pp. 1178–1186, DOI: 10.1292/jvms.19-0218. Epub 2020 Jul 9.
7. Ojun S.M., Soloshenko V.A., Durov A.S., Tip Baj-talskij, Patent № 11905 ot 10.09.2021 s datoj prioriteta po zajavke № 79671 ot 11.11.2019. (In Russ.)
8. Farsyhanov S.I., Lozovaja G.S., Golovchenko O.Ju. [et al.], Izvestija akademii nauk Tadzhikskoj SSR. Otdelenie biologicheskikh nauk, 1988, No. 2, pp. 52–56. (In Russ.)

9. Sorokovoj P.F., Bukarov N.G., Zagasuren E., Materialy narodnoj konferencii po gruppam krovi i biohimicheskomu polimorfizmu zhivotnyh, Leningrad: VNIIGRZh, 1978, pp. 41. (In Russ.)
10. Sorokovoj P.F., Bykovchenko Ju.G., Voprosy biohimicheskoy genetiki cheloveka i sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh, Samarkand, 1973, pp. 77–80. (In Russ.)
11. Jakovlev V.S., Zadneprijanskij I.P., Korkin A.F., Shoshin V.M., Sel'skohozjajstvennaja biologija, 1985, T. 20, № 9, pp. 81–83. (In Russ.)
12. Davydov V.N., Vestnik Burjatskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologija. Geografija, 2012, No. 4, pp. 130–132. (In Russ.)
13. Sorokovoj P.F., Kjazimov S.B., Genetika, 1969, T. 5, No. 41, pp. 44–49. (In Russ.)
14. Lozovaja G.S., Golovchenko O.Ju., Genetika, 1985, T. 21, No. 7, pp. 1225–1228. (In Russ.)
15. Lozovaja G.S., Mashurov A.M., Molekuljarno geneticheskie markery zhivotnyh, Kiev, 1996, pp. 60–61. (In Russ.)
16. Belyaev D.K., Plyusnina I.Z., Trut L.N., Domestication in the silver fox (*Vulpes fulvus* Desm): Changes in physiological boundaries of the sensitive period of primary socialization, Applied Animal Behaviour Science, 1985, Vol. 13, Is. 4, pp. 359–370.
17. Belyaev D.K., Trut L.N., Genetic interrelations of specific changes in standard coat color of silver foxes and star arising during domestication, Genetika, 1986, Vol. 22, No. 1, pp. 119–128. (In Russ.)
18. Glazko V.I., Sovremennye koncepcii jevoljucionnoj genetiki, Novosibirsk, 2000, pp. 334–340. (In Russ.)
19. Glazko V.I., Doklady TSHA, 2006, Vyp. 279, Ch. 1, pp. 318–321. (In Russ.)
20. Petersen JL, Kalbfleisch TS, Parris M, Tietze SM, Cruickshank J., MC1R and KIT Haplotypes Associate With Pigmentation Phenotypes of North American Yak (*Bos grunniens*), J. Hered, 2020, Apr. 2, Vol. 111 (2), pp. 182–193, DOI: 10.1093/jhered/esz070.
21. Tajshin V.A., Lhasaranov B.B., Dzhejms R. [i dr.], Atlas nomadnyh zhivotnyh (Atlas of nomadic animals), Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 1999, 283 p.
22. Matoushek J., Gruppy krovi u krupnogo rogatogo skota (Blood types in cattle), Kiev: Urozhaj, 1964, 145 p.
23. Serebrovskij A.S., Geneticheskij analiz (Genetic analysis), Moscow: Nauka, 1970, 343 p.
24. Mashurov A.M., Suhova N.O., Fond antigenov porod krupnogo rogatogo skota i rodstvennyh emu vidov (Foundation of antigens of cattle breeds and related species), Novosibirsk, 1994, 125 p.
25. Suhova N.O., Deeva V.S., Lepihin I.N., Govoruhin D.V., Gruppy krovi krupnogo rogatogo skota i ih ispol'zovanie v selekcionnoj rabote (Cattle blood groups and their use in breeding work), Novosibirsk, 1992, 48 p.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ЛЕЧЕНИИ БРОНХОПНЕВМОНИИ ТЕЛЯТ ВИТАМИННО-АМИНОКИСЛОТНОГО КОМПЛЕКСА ВИТАМ

А.Е. Деменева, студент

А.В. Требухов, доктор ветеринарных наук, доцент

Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Россия

Ключевые слова: ветеринария, бронхопневмония, телята, лечение, крупный рогатый скот, кровь, Витам.

Реферат. В России на сегодняшний день бронхопневмония телят является одним из наиболее распространенных заболеваний в популяции молодняка крупного рогатого скота. Это полиэтиологическое заболевание, связанное с воздействием различных факторов, таких как понижение температуры воздуха, высокая влажность воздуха, его загрязнение и т.д. Патогенное их действие проявляется при снижении резистентности организма, нарушении целостности слизистых оболочек дыхательных путей и наличии воспалительного экссудата в бронхиолах и альвеолах. Бронхопневмония телят регистрируется на животноводческих комплексах в холодное и сырое время года как сезонное заболевание. В связи с этим разработка эффективных схем лечения данной патологии является актуальной задачей. Цель исследования – изучить эффективность применения препарата заместительной терапии Витам при лечении бронхопневмонии телят. Исследование проводилось в ООО «Мичуринец» в с. Алтайское Алтайского края в осенний период. Для опыта по принципу аналогов были сформированы две группы телят по 5 голов в каждой. Телят подбирали по мере рождения и возникновения заболевания. Они находились в одинаковых условиях кормления и содержания. Во время эксперимента проводилась оценка клинических признаков и морфологический анализ крови. При клиническом исследовании телят отмечались повышенная температура тела, хрипы, кашель, очаги притупления в легких в области передних и задних долей, апатичность, истечения из носа, потеря аппетита. На 7-е сутки лечения у животных опытной группы наблюдалось выздоровление. Бронхопневмония телят сопровождается изменением состава крови: эритропенией, лейкоцитозом, повышением СОЭ, нейтрофильным лейкоцитозом со сдвигом ядра влево, моноцитопенией. Применение витаминно-аминокислотного комплекса в комплексной терапии бронхопневмонии телят сокращает длительность и тяжесть течения заболевания.

USE OF VITAMIN-AMINO ACID COMPLEX IN THE TREATMENT OF BRONCHOPNEUMONIA IN CALVES

A.E. Demeneva, student

A.V. Trebukhov, Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor

Altai State Agrarian University, Barnaul, Russia

Keywords: veterinary medicine, bronchopneumonia, calves, treatment, cattle, blood, Vitam.

Abstract. In Russia today, bronchopneumonia of calves is one of the most common diseases in young cattle. This is a polyetiological disease associated with the influence of various factors, such as low air temperature, high air humidity, air pollution, etc. Their pathogenic effect is manifested by a decrease in the body's resistance, a violation of the integrity of the mucous membranes of the respiratory tract and the presence of inflammatory exudate in the bronchioles and alveoli. Bronchopneumonia of calves is registered on livestock farms in the cold and damp seasons as a seasonal disease. In this regard, developing effective treatment regimens for this pathology is an urgent task. The study aims to study the effectiveness of the replacement therapy drug Vitam in treating bronchopneumonia in calves. The study was carried out at Michurinets LLC in the village. Altai, Altai Territory in the autumn. According to the principle of analogues, two groups of calves of 5 heads each were formed for the experiment. Calves were selected according to birth and disease onset. They were under the same feeding and housing conditions. During the investigation, clinical signs and morphological blood analysis were assessed. During a clinical study of calves, elevated body temperature, wheezing, cough, areas of dullness in the lungs in the anterior and posterior lobes, lethargy, nasal discharge, and loss of appetite were noted. On the 7th day of treatment, animals in the experimental group showed recovery. Bronchopneumonia in calves is accompanied by changes in blood composition: erythropenia, leukocytosis, increased ESR, neutrophilic leukocytosis with a nuclear shift to the

left, and monocytopenia. Using a vitamin-amino acid complex in complex therapy of bronchopneumonia in calves reduces the duration and severity of the disease.

Выращивание здорового молодняка, его сохранность от болезней и падежа – одна из главных задач животноводства. Поступательное движение в сторону наращивания объёмов продукции достигается в том числе и посредством повышения обменных процессов, что, в свою очередь, приводит к увеличению риска нарушения гомеостаза и развитию различных патологий как у взрослого скота, так и молодняка [1–3]. Заболеваемость и гибель молодняка от внутренних незаразных болезней, в том числе от респираторных, причиняют значительный экономический ущерб, на них приходится примерно 75–90% падежа, поэтому большое значение имеют своевременная диагностика, лечение и профилактика болезней молодняка [3]. Болезни респираторных органов занимают у молодняка сельскохозяйственных животных второе место среди всех патологий после заболеваний желудочно-кишечного тракта [4, 5]. Самое распространенное среди респираторных заболеваний – бронхопневмония, воспаление бронхов и отдельных долек легкого с накоплением в альвеолах экссудата, который состоит из слизи, клеток эпителия слизистой оболочки и лейкоцитов [6]. Воспалительный процесс, первично возникший в бронхах, распространяется на бронхиолы, альвеолы и легочную ткань. Возникает расстройство газообмена и дыхательная недостаточность организма.

Бронхопневмония телят регистрируется на животноводческих комплексах в холодное и сырое время года как сезонное заболевание [7]. Это классическое факторное заболевание, которое вызывается совместным воздействием инфекционных патогенов и неблагоприятных факторов окружающей среды [8, 9]. При благоприятном течении болезни, устранении этиологических факторов и лечебном воздействии через 7–10 дней альвеолярная ткань восстанавливается до нормального состояния, альвеолы освобождаются от экссудата, наступает клиническое выздоровление. При отсутствии лечебной помощи процесс в легких принимает лобарный характер, преобладают гнойно-некротические изменения, которые зачастую приводят к плевритам и перикардитам. Диагноз на бронхопневмонию ставят комплексно с учетом благополучия хозяйства по инфекционным и инвазионным болезням, клинических признаков, исследований крови, данных патолого-морфологических изменений при вскрытии павших животных [10]. В связи с этим разработка эффективных схем лечения данной патологии является актуальной задачей.

Цель исследования – изучить эффективность применения препарата заместительной терапии Витам при лечении бронхопневмонии телят.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось в ООО «Мичуринец» в с. Алтайское Алтайского края в осенний период. Было отобрано 10 телят чернопестрой породы 3-месячного возраста с живой массой $102,0 \pm 9,1$ кг. Бронхопневмонию выявляли, опираясь на специфическую для данного заболевания клиническую картину: повышенная температура тела, хрипы, кашель, очаги приглушения в легких в области передних и задних долей, апатичность, истечения из носа, потеря аппетита. Все телята находились в одинаковых условиях кормления и содержания. Для проведения эксперимента отобранный молодняк крупного рогатого скота поделили на две группы: контрольную и опытную.

Телят контрольной группы лечили в соответствии со схемой терапии, используемой в хозяйстве, куда включён препарат ВитОкей, который использовали в дозе 2 мл/10 кг массы тела животного, 1 раз в день, внутримышечно, каждые 24 ч. В схему лечения обеих групп входили антибактериальный препарат Ресфлор в дозе 10 мл 1 раз в день, подкожно, каждые 48 ч; нестероидное противовоспалительное средство Локсик 2% в дозе 2,5 мл/100 кг массы тела животного, 1 раз в день, подкожно, каждые 24 ч. В лечении опытной группы применялась та же схема терапии, но препарат ВитОкей был заменён на препарат Витам, применяемый в дозе 3 мл/10 кг массы тела животного, 1 раз в день, внутримышечно, каждые 24 ч.

У телят обеих групп была взята кровь для морфологического анализа. При морфологическом исследовании крови определяли: количественное содержание эритроцитов, лейкоцитов и гемоглобина, скорость оседания эритроцитов и процентное соотношение видов лейкоцитов. Лабораторные исследования крови осуществляли на ветеринарном гематологическом анализаторе Mindray BC-2800 Vet (Китай) и на биохимическом анализаторе Pointcare V3 (Япония). Все клинические и лабораторные исследования были проведены в 2022 г.

Полученные результаты подвергли статистической обработке с использованием программы Statistica от StatSoft.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В начале эксперимента у телят обеих групп наблюдалась апатия, пониженный аппетит, гиперемия видимых слизистых оболочек, серозно-слизистые истечения из носовой полости. При проведении аускультации легких отмечались везикулярное дыхание, влажные хрипы.

Кашель сначала был сухим, затем влажным. Перкуссией легких установлены очаги приглушения передних и задних долей. Дыхание учащенное, затрудненное. Результаты морфологических исследований крови представлены в табл. 1.

Результаты исследований лейкограммы крови телят исследуемых групп представлены в табл. 2.

Таблица 1

Морфологические показатели крови ($M \pm m, n=10$)
Morphological blood parameters ($M \pm m, n=10$)

Показатели	Группа	До начала лечения	На 7-й день лечения	Физиологическая норма по А. П. Демидовичу [11]
Эритроциты, $10^{12}/л$	Опытная	$4,7 \pm 0,2$	$6,4 \pm 0,3^{* **}$	5–10
	Контрольная	$4,6 \pm 0,2$	$5,2 \pm 0,1$	
Лейкоциты, $10^9/л$	Опытная	$15,8 \pm 0,7$	$10,6 \pm 0,3^{**}$	4–12
	Контрольная	$16,5 \pm 0,6$	$11,7 \pm 0,4^{**}$	
Гемоглобин, г/л	Опытная	$109,6 \pm 5,3$	$116,7 \pm 5,8$	80–150
	Контрольная	$107,4 \pm 4,6$	$113,6 \pm 5,6$	
СОЭ, мм/ч	Опытная	$1,2 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,1^{**}$	0,1–0,6
	Контрольная	$1,1 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,2$	

* $p < 0,05$ между группами; ** $p < 0,05$ относительно исходных данных.

* $p < 0.05$ between groups; ** $p < 0.05$ relative to the original data.

Таблица 2

Лейкограмма телят, больных бронхопневмонией ($M \pm m, n=10$), %
Leukogram of calves sick with bronchopneumonia ($M \pm m, n=10$), %

Группа	Эзино-филы	Нейтрофилы			Лимфоциты	Моноциты
		юные	палочко-ядерные	сегменто-ядерные		
Физиологическая норма по А. П. Демидовичу [11]	2–20	0–1	0–2	15–45	45–75	3–10
До начала лечения						
Опытная	$2,6 \pm 1,3$	$3,6 \pm 1,1$	$1,2 \pm 0,7$	$30,2 \pm 0,4$	$55,4 \pm 5,8$	$1,2 \pm 1,2$
Контрольная	$2,4 \pm 0,5$	$4,0 \pm 1,5$	$1,2 \pm 0,8$	$29,4 \pm 0,5$	$55,6 \pm 4,7$	$1,6 \pm 1,1$
На 7-й день после начала лечения						
Опытная	$5,0 \pm 1,5^{*}$	$0,2 \pm 0,4$	$0,8 \pm 1,1$	$34,2 \pm 4,2$	$56,3 \pm 8,2^{*}$	$5,6 \pm 0,8^{*}$
Контрольная	$3,4 \pm 1,1$	$1,2 \pm 1,3$	$1,4 \pm 1,2$	$31,1 \pm 3,6$	$57,4 \pm 7,1$	$3,2 \pm 1,8$

* $p < 0,05$ между группами.

* $p < 0.05$ between groups.

Анализ табл. 1, 2 показывает, что в крови телят обеих групп до начала лечения отмечалось снижение количества эритроцитов в крови и ускоренное СОЭ, лейкоцитоз, гемоглобин находился на нижней границе нормы. На лейкограмме наблюдается нейтрофильный лейкоцитоз со сдвигом ядра влево, что говорит об остром течении болезни. У животных обеих групп была установлена моноцитопения. Указанные изменения, на наш взгляд, связаны с воздействием на органы кроветворения различных токсинов и недоокисленных продуктов обмена, возникших в процессе патогенеза бронхопневмонии.

Во время лечения животных подвергали ежедневному клиническому осмотру. Одним из показателей эффективности схемы лечения опытной группы являлось ослабление специфических признаков заболевания, а также нормализация морфологических показателей крови.

Так, в ходе лечения у телят опытной группы уже на 5-е сутки улучшилось дыхание, при аускультации хрипы не выявлялись, кашель отсутствовал, температура тела колебалась в физиологических пределах, появился аппетит. По результатам морфологического исследования крови на 7-й день после начала лечения бронхопневмонии у телят опытной группы наблюдается увеличение относительно исходных данных содержания эритроцитов на 36,0 % ($p<0,05$), уменьшение количества лейкоцитов на 33,0 % ($p<0,05$), показатель СОЭ снизился в

3 раза ($p<0,05$) и пришёл в физиологическую норму.

У телят контрольной группы видимое ослабление клинических признаков отмечено только на 7-й день. Количество эритроцитов относительно первого исследования возросло на 13,0 %, содержание лейкоцитов снизилось на 29,0 % ($p<0,05$) (рис. 1), СОЭ находилось на верхней физиологической границе ($0,5\pm 0,2$) (рис. 2). На 10-й день животные контрольной группы были клинически здоровы.

Среднегрупповые значения к 7-му дню лечения были достоверно выше в опытной группе относительно контрольной по количеству эритроцитов на 23,0 % ($p<0,05$) (рис. 3), эозинофилов – на 47,0 % ($p<0,05$), моноцитов – в 1,8 раза ($p<0,05$), а по содержанию лейкоцитов, напротив, ниже на 9,4 % ($p<0,05$). Количество сегментоядерных нейтрофилов было также выше в крови опытных телят на 10,0 %, гемоглобина – на 3,0 %, а содержание юных и палочкоядерных нейтрофилов, СОЭ, лимфоцитов – ниже соответственно на 83,3; 9,4; 43,0 и 20,0 %, но достоверных различий между группами отмечено не было.

Таким образом, у опытной группы телят к 7-му дню исследования не только клинические признаки, но и результаты общего анализа крови свидетельствовали об эффективности применения препарата Витам в комплексной терапии бронхопневмонии.

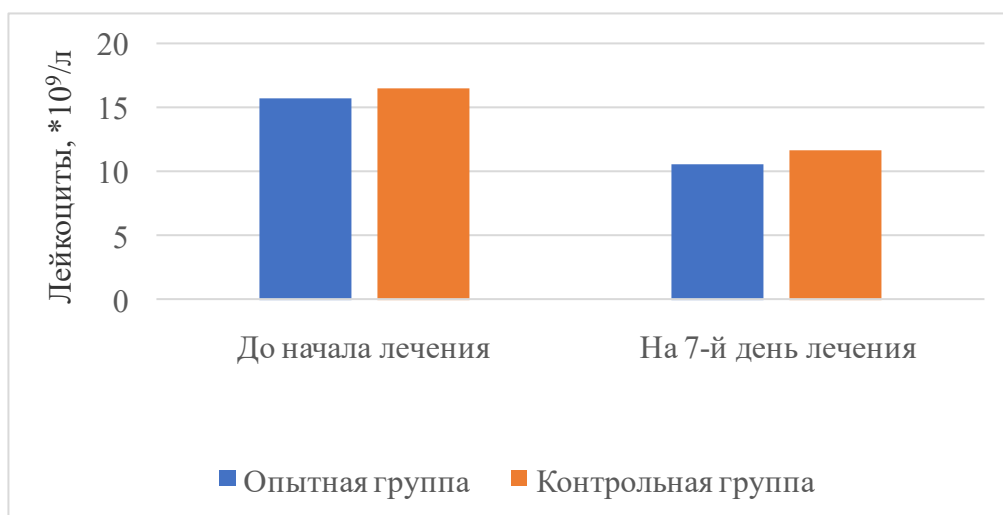


Рис. 1. Уровень лейкоцитов в крови телят

Level of leukocytes in the blood of calves

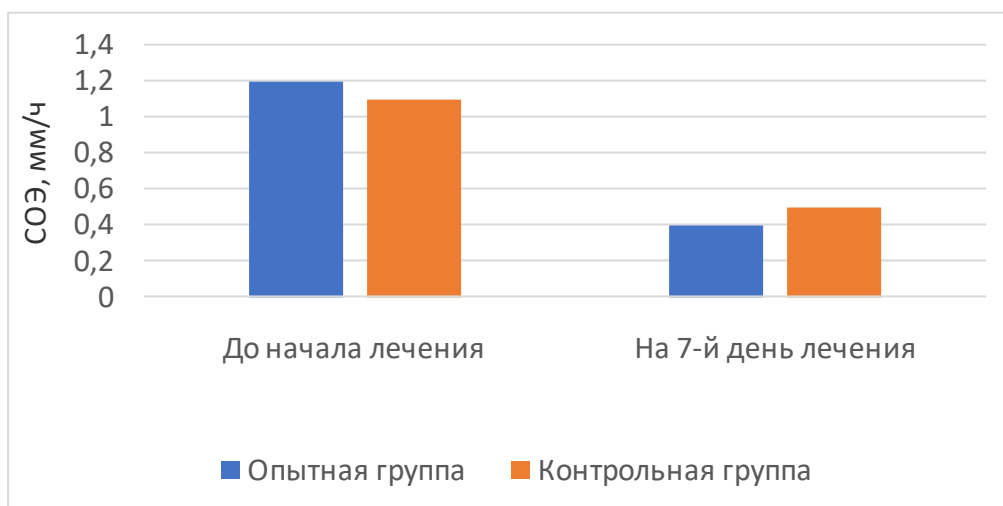


Рис. 2. Уровень СОЭ в крови телят

ESR level in the blood of calves

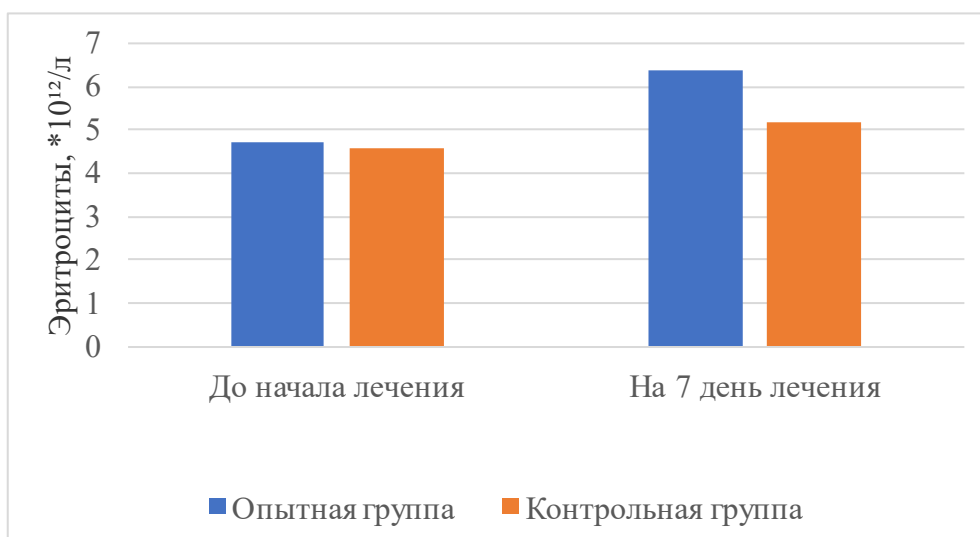


Рис. 3. Уровень эритроцитов в крови телят

Level of red blood cells in the blood of calves

ВЫВОДЫ

1. Клинически бронхопневмония телят проявлялась апатией, пониженным аппетитом, серозно-слизистыми истечениями из носовых ходов, сухим кашлем, влажными хрипами и очагами притупления в передних и задних долях легких.

2. В крови при бронхопневмонии телят отмечаются эритропения (до $4,6 \pm 0,2 \cdot 10^{12}/л$), лейкоцитоз (до $16,5 \pm 0,6 \cdot 10^9/л$), повышение СОЭ (до $1,2 \pm 0,1$ мм/ч), нейтрофильный лейкоцитоз со сдвигом ядра влево и моноцитопения.

3. Применение витаминно-аминокислотного комплекса в комплексной терапии бронхопневмонии способствовало улучшению клинического статуса уже на 5-е сутки (отсутствовали кашель, хрипы в легких, появился аппетит), а на 7-е сутки отмечалась положительная тенденция в изменениях основных морфологических показателей крови (повышение содержания эритроцитов, снижение количества лейкоцитов, восстановление до физиологического значения показателя СОЭ).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Antonov V., Ignatova G. The effectiveness of vaccine prophylaxis of conjugated pneumococcal vaccine in patients with chronic obstructive pulmonary disease for 5 years of observation // *Allergy*. – 2018. – Vol. 73, N S105. – P. 478–479. – DOI: 10.1111/all.13539.
2. On-farm diagnosis of latent respiratory failure in calves / A. Chernitskiy, S. Shabunin, T. Kuchmenko, V. Safonov // *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. – 2019. – T. 43, N 6. – P. 707–715.
3. Гурова С.В., Аксенова В.М. Современные подходы к диагностике степени тяжести бронхопневмонии телят // *Пермский аграрный вестник*. – 2022. – № 2 (38). – С. 112–117.
4. Калюжный И.И., Эленшлегер А.А., Попов С.В. Эффективность комплексной терапии неспецифической бронхопневмонии у телят // *Вестник АГАУ*. – 2019. – № 7 (177). – С. 89–96.
5. Мельник В.В., Репко Е.В., Леонова О.Г. Роль иммуностимуляторов в профилактике бронхопневмонии у телят // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. – 2020. – № 23 (186). – С. 164–170.
6. Староселов М.А., Басова Н.Ю., Схатум А.К. Параметры системного иммунитета респираторного тракта у больных и здоровых телят // *Сборник научных трудов СКНИИЖ*. – 2020. – № 2. – С. 156–159.
7. Требухов А.В. Изменение биохимических показателей крови у коров и телят при нарушении углеводного и жирового обмена // *Ветеринария*. – 2021. – № 5. – С. 50–54.
8. Требухов А.В., Утц С.А. Иммунологический статус крови и молока у коров после применения пробиотика // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2022. – № 2 (58). – С. 135–140. – DOI: 10.18286/1816-4501-2022-2-135-140.
9. Филипов И.Г., Чеходариди Ф.Н. Бронхопневмония телят (диагностика, симптоматика, лечение) // *Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана*. – 2022. – № 1. – С. 218–223.
10. Шоболев С.В., Марьин Е.М., Калязина Н.Ю. Биохимический профиль крови у телят, больных бронхопневмонией // *Вестник Ульяновской ГСХА*. – 2022. – № 3 (59). – С. 160–163.
11. Демидович А.П. Диагностическое значение биохимических показателей крови (белковый, углеводный, липидный обмен): учеб.-метод. пособие для студентов по специальности «Ветеринарная медицина» / Витеб. гос. акад. вет. медицины. – Стер. изд. – Витебск: ВГАВМ, 2019. – С. 32.

REFERENCES

1. Antonov V., Ignatova G., The effectiveness of vaccine prophylaxis of conjugated pneumococcal vaccine in patients with chronic obstructive pulmonary disease for 5 years of observation, *Allergy*, 2018, Vol. 73, No. S105, pp. 478–479.
2. Chernitskiy A., Shabunin S., Kuchmenko T., Safonov V., On-farm diagnosis of latent respiratory failure in calves, *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 2019, T. 43, No. 6, pp. 707–715.
3. Gurova S.V., Aksenova V.M., *Permskii agrarnyi vestnik*, 2022, No. 2 (38), pp. 112–117. (In Russ.)
4. Kalyuzhnyi I.I., Elenshleger A.A., Popov S.V., *Vestnik AGAU*, 2019, No. 7 (177), pp. 89–96. (In Russ.)
5. Mel'nik V.V., Repko E.V., Leonova O.G., *Izvestiya sel'skokhozyaistvennoi nauki Tavridy*, 2020, No. 23 (186), pp. 164–170. (In Russ.)
6. Staroselov M.A., Basova N.Yu., Skhatum A.K., *Sbornik nauchnykh trudov SKNIIZh*, 2020, No. 2, pp. 156–159. (In Russ.)
7. Trebukhov A.V., *Veterinariya*, 2021, No. 5, pp. 50–54. (In Russ.)
8. Trebukhov A.V., Utts S.A., *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2022, No. 2 (58), pp. 135–140. (In Russ.)
9. Filipov I.G., Chekhodaridi F.N., *Uchenye zapiski KGAVM im. N.E. Bauman*, 2022, No. 1, pp. 218–223. (In Russ.)

10. Shobolev S.V., Mar'in E.M., Kalyazina N.Yu., Vestnik Ul'yanovskoi GSKhA, 2022, No. 3 (59), pp. 160-163. (In Russ.)
11. Demidovich A.P., Diagnosticheskoe znachenie biokhimicheskikh pokazateley krovi (belkovyy, uglevodnyy, lipidnyy obmen) (Diagnostic value of biochemical blood parameters (protein, carbohydrate, lipid metabolism)), Vitebsk: VGAVM, 2019, pp. 32. (In Russ.)

ПОЛИМОРФНЫЕ ВАРИАНТЫ ГЕНА PIT-1 КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА СИММЕНТАЛЬСКОЙ И КРАСНОЙ СТЕПНОЙ ПОРОД РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

¹Г.Г. Джаксыбаева, магистр технических наук, аспирант

²Н.Н. Кочнев, доктор биологических наук

¹Н.Н. Кайниденов, магистр технических наук

¹Торайгыров университет, Павлодар, Республика Казахстан

²Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: gulnarajaks@gmail.com

Ключевые слова: полиморфизм, ПЦР-ПДРФ, ген Pit-1, красная степная порода, симментальская порода.

Реферат. Молочная продуктивность как сложный количественный признак контролируется большим количеством генов и их факторов транскрипции с учётом физиологии животного. В этой связи актуален поиск и идентификация генов, ответственных за хозяйственно полезные признаки крупного рогатого скота. Динамика молочной продуктивности зависит от ряда факторов, поскольку секреторную активность молочной железы контролирует комплекс гормонов, генов, факторов транскрипции и ферментов. Генотип особи определяет её потенциал продуктивности и норму реакции на условия внешней среды. Исследуемый ген Pit-1 является информативным маркером в детерминации молочной и мясной продуктивности. Генотипы изучаемого гена идентифицируются с помощью анализа полимеразной цепной реакции и полиморфизма длин рестриктных фрагментов. При анализе данных используется критерий хи-квадрат для определения генотипа, частот аллелей и равновесия Харди-Вайнберга. Объект исследования – ДНК крови красной степной и симментальской пород крупного рогатого скота Павлодарской области Казахстана. По результатам амплификации фрагмента гена Pit-1 получен продукт ПЦР размером 451 п.н. По результатам расщепления ампликонов получены генотипы AA (451 п.н.), AB (451, 207, 244 п.н.) и BB (207, 244 п.н.). В рассматриваемых хозяйствах региона преобладают генотипы BB, AB. В исследуемых группах животных региона наблюдается высокая частота аллеля В: у красной степной – 0,689, симментальский – 0,549; частота аллеля А – 0,312; 0,451 соответственно. Генетическое равновесие не нарушено; критерий достоверности соответствия эмпирического распределения теоретическому у красной степной породы – 0,04, у симментальской – 0,16. Выявленные ассоциации полиморфизма гена Pit-1 могут быть использованы для отбора и подбора родительских пар при направленной селекции.

POLYMORPHIC VARIANTS OF THE PIT-1 GENE IN SIMMENTAL AND RED STEPPE CATTLE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

¹G. G. Jaxybayeva, Master of Technical Sciences

²H. N. Kochnev, Doctor of Biological Sciences

¹H. N. Kaynidenov, Master of Technical Sciences

¹Toraigyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan

²Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: gulnarajaks@gmail.com

Keywords: polymorphism, PCR-RFLP, Pit-1 gene, red steppe breed, simmental breed.

Abstract. The search and identification of genes responsible for economically useful traits of cattle is relevant. Dairy productivity as a complex quantitative trait, is controlled by a large number of genes and their transcription factors taking into account the physiology of the animal. The dynamics of dairy productivity depends on a number of factors, since the secretory activity of the mammary gland is controlled by a complex of hormones, genes, transcription factors and enzymes. The studied gene Pit-1 (POU1F1) is an informative marker in determining milk and meat productivity. The genotype of an individual determines its productivity potential and the norm of reaction to environmental conditions. Genotypes of the studied gene are identified by polymerase chain reaction and restriction fragment length polymorphism (PCR-PDRP) analysis. When analyzing the data, the chi-square test is used to determine the genotype, allele frequencies and Hardy-Weinberg equilibrium. The object of research

– DNA of blood of red steppe, simmental breeds of cattle of Pavlodar region of Kazakhstan. According to the results of amplification of Pit-1 gene fragment the PCR product with the size of 451 bp was obtained. According to the results of amplicon splitting the genotypes AA (451 bp), AB (451, 207, 244 bp) and BB (207, 244 bp) were obtained. In the considered farms of the region genotypes BB, AB prevail. In the studied groups of animals of the region high frequency of allele B is observed; in red steppe – 0.689, simmentals – 0.549; frequency of allele A – 0.312; 0.451 respectively. Genetic equilibrium is not disturbed; the criteria of reliability of the empirical distribution to the theoretical one in red steppe breed – 0.04, in simmentals – 0.16. The revealed associations of Pit-1 gene polymorphism can be used for selection and selecting parental pairs at directed breeding.

Молочная продуктивность как сложный количественный признак контролируется большим количеством генов и их факторов транскрипции с учётом физиологии животного. В этой связи актуален поиск и идентификация генов, ответственных за хозяйственно полезные признаки крупного рогатого скота. Динамика молочной продуктивности зависит от ряда факторов, поскольку секреторную активность молочной железы контролирует комплекс гормонов, генов, факторов транскрипции и ферментов. Набор сайтов связывания факторов транскрипции в регуляторных районах генов рассматривается как существенная, главная часть регуляторного кода транскрипции, находящаяся в тесном взаимодействии с рядом других кодов (код позиционирования нуклеосом, гистоновый код, код наднуклеосомной укладки хроматина) и обеспечивающая дифференциальную экспрессию генов многоклеточного организма [1, 2].

Генотип особи определяет её потенциал продуктивности и норму реакции на условия внешней среды. Исследуемый нами ген Pit-1 (POU1F1) является информативным маркером в детерминации молочной и мясной продуктивности.

Локализованный в районе центромеры первой хромосомы, Pit-1 кодируется специфическим гипофизарным фактором транскрипции. На ранних этапах пренатального развития он направляет дифференциацию клеток гипофиза, определяет развитие зон, ответственных за синтез соматотропина (GH), пролактина (PRL) и тиреотропного гормона, и участвует в регуляции экспрессии их генов. Pit-1 входит в POU-домен, включающий группу транскрипционных регуляторов (регуляторные белки), играющих важную роль в дифференциации и пролиферации клеток, секретирующих эти гормоны. Регуляторные белки – это инструменты настройки РНК-полимеразы (устройство, считывающее и перекодирующее генетическую информацию) на необходимый уровень транскрипционной активности. Мутации в гене Pit-1 приводят к заметному снижению экспрессии генов PRL, GH и к значительному снижению

пролиферации клеточных линий, продуцирующих эти гормоны, гипоплазии гипофиза.

Исследователи активно изучают гены соматотропинового каскада, белковые продукты которых являются ключевыми звеньями одной гуморальной цепи, участвующей в процессах роста и развития млекопитающих (bPit-1, bGH, bGHR, bIGF-1). В каскаде экспрессия одного гена влияет на экспрессию всех остальных, и один полиморфизм может потенцировать действие другого. Для гена Pit-1 идентифицирован полиморфизм в шестом экзоне в районе центромеры первой хромосомы [3–5].

Генотипы изучаемого гена идентифицируются с помощью анализа полимеразной цепной реакции и полиморфизма длин рестриктных фрагментов (ПЦР-ПДРФ). При анализе данных используется критерий хи-квадрат для определения генотипа, частот аллелей и равновесия Харди-Вайнберга.

Полиморфизм гена – фактора транскрипции гипофиза Pit-1 иранской голштинской породы скота изучается учёными в группе с генами гипоталамо-гипофизарной оси (PRL, GH) с последующим определением их влияния на признаки молочной продуктивности. Исследуемые гены: PRL, GH, фактор транскрипции гипофиза Pit-1, преобразователи сигналов и активаторы транскрипции (STAT5a). Частоты генотипов AA, AB и BB Pit-1-HinfI составили 0,142; 0,358 и 0,500 соответственно [6].

В результате исследований полиморфизма Pit-1 фризской голштинской породы Индонезии было обнаружено три генотипа – AA, AB и BB, их частоты составляли 0,1; 0,3 и 0,6 соответственно. Частоты аллелей A и B – 0,25 и 0,75 соответственно. По результатам исследования сделан вывод, что высшим генотипом Pit-1 у местной голштинской породы молочного скота был тип BB, а аллелей – тип B [7].

Исследование голштинской породы Татарстана показало, что популяция также полиморфна, генетическое равновесие не нарушено. Распределение аллелей и генотипов было следующим: A – 0,32, B – 0,68, AA – 11,7 %, AB – 40,5, BB – 47,7 % [8]. Учёными проведено также полногеномное исследование ассоциации и точное картирование крупного

рогатого скота корейской голштинской породы ($n = 2780$) [9].

Ген гипофизарного фактора транскрипции Pit-1 исследуется и в генном каскаде, контролирующем липидный и энергетический обмен. Рассматриваемая группа генов является основной составляющей роста млекопитающих, и, следовательно, откорма крупного рогатого скота. Исследование проведено для оценки влияния полиморфизмов генов, связанных с метаболизмом липидов и энергии, включая рецептор окисленных липопротеинов низкой плотности 1 (OLR1), лактоферрин (LTF), стеариол-КоА-десатуразу (SCD), бета-лактоглобулин (LGB), тиреоглобулин (TG), аннексин A9 (ANXA9), миогенный фактор 5 (MYF5), протеинкиназу, AMP-активируемую некаталитическую субъединицу гамма-3 (PRKAG3) и гипотиз-специфический транскрипционный фактор 1 (Pit-1) на показатели откорма симментальской породы крупного рогатого скота [10].

В молекулярной селекции балийского скота Grati-Bali для выявления полиморфизма в популяции активно используются гены GH, GHR, Pit-1, контролирующие живую массу; метод ПЦР-ПДРФ с рестрикционными ферментами MspI, AluI, HinfI (GH/MspI, GHR/AluI, Pit-1/HinfI). Исследования направлены на определение уровня перечисленных генов и их связи с массой тела животных в качестве первого шага для получения маркерной селекции (MAS). Анализ показал, что гены GH и Pit-1 мономорфны, выявляются по одному генотипу, каждый с частотой аллеля более 99 %. Ген GHR был обнаружен в трех генотипах – AA, AG, GG с частотами аллелей A – 0,579 и G – 0,421. Ген GHR/AluI у Grati-Bali является полиморфным и существенно не связан с массой тела [11–13].

Гены семейства роста GHR и Pit-1, контролирующие признаки роста, также влияют на плодовитость животных. Многоплодие мясного скота может быть полезным при интенсивном выращивании коров. Современные технологии молекулярных маркеров позволяют выявить гены, влияющие на количественные, в том числе и на репродуктивные признаки у скота. Было предсказано, что ряд генов роста и репродуктивности приведут к двойне и многоплодию у крупного рогатого скота. Исследования ученых направлены на выявление генетических полиморфизмов генов GHR и Pit-1 у скота породы Peranakan Ongole Индонезии у близнецов и многоплодных рождений по сравнению с одиночными рождениями. Анализируются варианты полиморфизма локуса GHR/Ssp в экзоне 8 (A/T) и локуса Pit1/Stu1 в экзоне 3 (C/T). Идентификация вариан-

тов генотипа экзона GHR 8 локуса показала, что у породы Peranakan Ongole от близнецов и многоплодных рождений преобладал генотип TT (0,5625–1,00), частота генотипа AT была от 0 до 0,4375, а генотип AA не встречался. Генотипирование фрагментов ДНК локуса экзона 3 Pit1/Stu1 (C/T) выявило три генотипа – CC (234 п.н.), AC (197, 37 п.н.) и AA (234, 197, 37 п.н.). Коровы с генотипом AA имели лучшие показатели фертильности, о чем свидетельствует более высокая частота эмбрионального оплодотворения *in vitro* (бластоциста), чем у коров с генотипами CC и AC. Генетический полиморфизм фрагментов экзона 3 Pit1 вызван существованием точечной мутации между основаниями C и T [14].

Генетическая информация по полиморфизму применяется для разработки стратегических планов, направленных на улучшение генетических качеств буйволов из Хузестана (Иран). Учеными оценивается влияние генетических полиморфизмов в генах GH, Pit-1, GHR, GHRHR и KCN3 на молочную продуктивность и массу тела хузестанских буйволов. Генотипированы амплифицированные и расщепленные фрагменты GH/AluI, GHR/AluI, GHRHR/HaeIII, Pit-1/HinfI и KCN3/HindIII. Частота мутантных аллелей Pit-1 составила 51,7 %. Существовали значительные различия ($< 0,0001$) в генотипических частотах Pit-1 между буйволами с высокой и низкой молочной продуктивностью. Полиморфизмы Pit-1 оказывали значительное влияние на массу тела [15].

При оценке ассоциации между полиморфизмом гена Pit-1, расположенного в шестом экзоне хромосомы 1 крупного рогатого скота и признаками молочной продуктивности местных коров региона Кербала (Ирак), частоты аллелей и генотипов были следующими: AA – 0,081, для AB – 0,688, BB – 0,229, PIT1(A) – 0,43 и PIT1(B) – 0,57. Достоверной разницы по живой массе и удою между генотипами не установлено ($P > 0,05$). Исследователи показали, что полиморфизм гена Pit-1 не связан с массой тела и молочной продуктивностью [16, 17].

В целях реализации исследований по теме «Особенности генетического полиморфизма по генам-кандидатам молочной продуктивности коров симментальской и красной степной пород казахстанской селекции» целесообразно провести анализ по полиморфным вариантам гена Pit-1 перечисленных пород животных.

Цель исследования – оценка полиморфизма гена Pit-1 методом ПЦР-ПДРФ у симментальской и красной степной пород Павлодарской области Казахстана.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследования – ДНК крови красной степной и симментальской пород крупного рогатого скота (n=183). Забор проб крови производился от 120 голов скота красной степной породы в 2023 г. в ТОО «Победа» (Павлодарская область, Щербактинский район, с. Орловка) и от 63 голов симментальской породы в 2017 г. в племенном хозяйстве ТОО «Галицкое» (Павлодарская область, Успенский район, с. Галицкое).

Предмет исследования – полиморфный ген Pit-1. Исследование проводили с целью изучения полиморфизма гена Pit-1 (замена G на A в области шестого экзона).

Алгоритм действий: выделение ДНК – гель-электрофорез, детекция ДНК – ПЦР – гель-электрофорез, детекция ампликонов Pit-1 – введение рестриктазы HinfI в ампликоны – гель-электрофорез, детекция ПДРФ (генотипирование) – расчёт частоты генотипов и аллелей.

Экстракцию ДНК проводили в процессе лизирования клеток крови, закрепления ДНК на сорбенте, промывки (3×), элюции ДНК в ТЕ-буфер (50 мкл). Для экстракции нуклеиновой кислоты использовали набор реагентов ДНК-сорб-В компании «АмплиСенс®», г. Москва.

Для проведения ПЦР использована готовая реакционная смесь БиоМастер HS-Taq ПЦР (2×) компании «Биолабмикс», г. Новосибирск. Состав БиоМастер HS-Taq ПЦР (2×): 100 мМ Трис-HCl, pH 8,5 (при 25 °C), 100 мМ KCl, 0,4 мМ каждого дезоксинуклеозидтрифосфата, 4 мМ MgCl₂, 0,06 ед. акт./мкл Taq ДНК-полимеразы, 0,2% Tween 20, стабилизаторы HS-Taq ДНК-полимеразы.

ПЦР-праймеры синтезировали в компании «Люмипроб РУС», г. Москва. Последовательности олигонуклотидов для исследуемого гена Pit1:

Pit1-F: 5'-aaa cca tca tct ccc ttc tt-3';

Pit1-R: 5'-aat gta caa tgt gcc ttc tga g-3'.

Амплифицировали фрагменты на термощиклере «Терцик» («ДНК-Технология», г. Москва).

Режим амплификации:

94 °C – 5 мин;

94 °C – 30 с; 56 °C – 30 с; 72 °C – 30 с. × 35 циклов;

72 °C – 10 мин;

Хранение – минус 4 °C.

Анализ полиморфизма длин рестрикционных фрагментов включал обработку амплификата сайт-специфической рестриктазой и последующее разделение полученных фрагментов с помощью горизонтального гель-электрофореза (Pit-1/ HinfI). Электрофорез проводили в 2 %-м агарозном геле с бромистым этидием. Сайт узнавания HinfI G↑ANTC / CTNA↓G. Источник: из штамма *E. coli*, несущего клонированный ген HinfI из *Haemophilus influenzae*.

Для проведения электрофоретического разделения продуктов амплификации вносили агарозные пластины в камеру с ТБЕ – буфером (1×). Электрофорез проводится в направлении от катода (–) к аноду (+) в течение 50 мин, напряжённость электрического поля 10–20 В/см при ширине камеры 10 см. Напряжение, устанавливаемое в источнике постоянного тока, – 200–220 В. На трансиллюминаторе анализировали полученные результаты. Продукт амплификации виден в ультрафиолетовом свете (длина волны 254 нм или 310 нм) в виде светящейся полосы красно-оранжевого цвета.

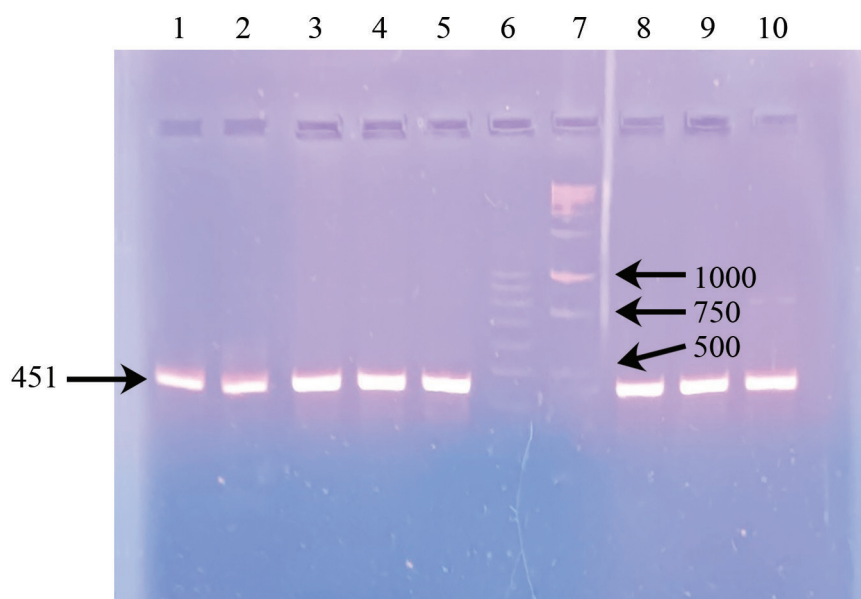
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ HinfI гена Pit-1 проводился по методике, описанной М.В. Позовниковой [1].

По результатам амплификации фрагмента гена Pit-1 методом ПЦР в данном исследовании был получен продукт ПЦР размером 451 п.н. (рис. 1). Положение на геле специфических полос показано стрелками.

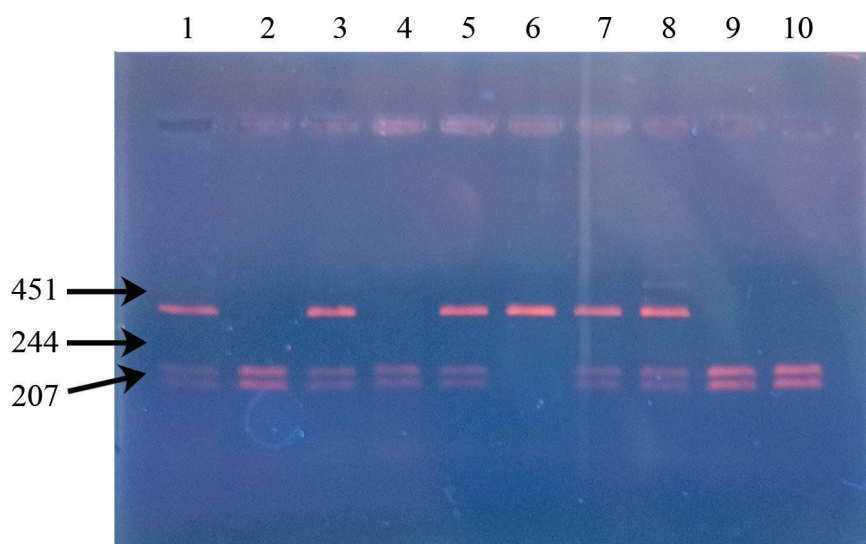
Амплифицированный фрагмент гена Pit-1 входит в состав экзона 6 [7]. Генотипирование для дифференциации аллелей А и В проводили путём расщепления продукта ПЦР с использованием рестриктазы HinfI с сайтом разрезания G↑ANTC / CTNA↓G.

Получаемая картина электрофореза исследуемых пород крупного рогатого скота приведена на рис. 2, 3.



Дорожки 1, 2 – ПЦР-продукт фрагмента гена Pit-1 симменталов; дорожки 3–5, 8–10 – ПЦР-продукт фрагмента гена Pit-1 красной степной породы; дорожка 6 – маркер молекулярных масс 100 bp DNA Ladder; дорожка 7 – маркер молекулярных масс 1 kb DNA Ladder

Рис. 1. ПЦР-продукт 451 п.н. фрагмента гена Pit-1
PCR product 451 b.p. fragment of the Pit-1 gene



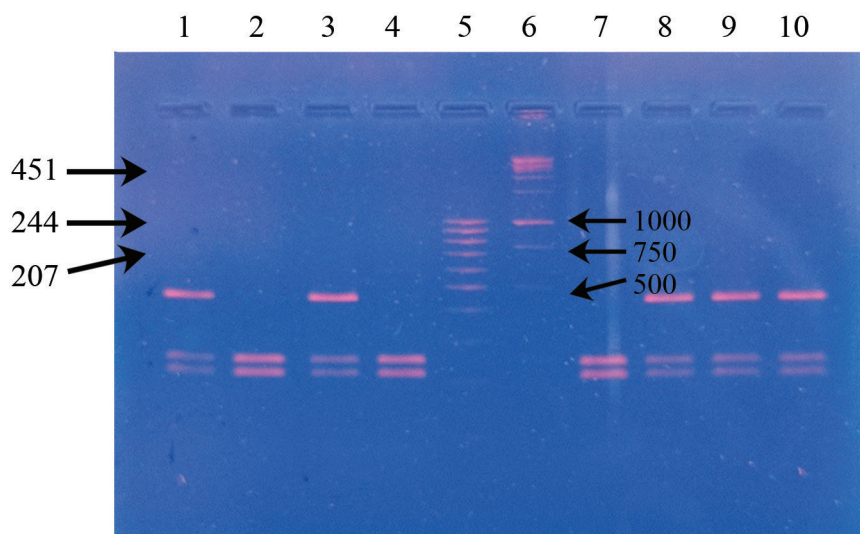
Дорожки 1, 3, 5, 7, 8 – фрагменты рестрикции 451, 244, 207 п.н., соответствующие генотипу Pit-1/HinFI AB; дорожки 2, 4, 9, 10 – фрагмент рестрикции 244, 207 п.н., соответствующий генотипу Pit-1-HinFI BB; дорожка 6 – фрагмент рестрикции 451 п.н., соответствующий генотипу Pit-1/HinFI AA

Рис. 2. Электрофореграмма ДНК-типирования полиморфизма Pit-1/HinFI симменталов
Electrophoregram of DNA typing of Pit-1/HinFI polymorphism of Simmentals

По результатам расщепления ампликонов получены генотипы AA, AB и BB. О генотипе AA свидетельствовало наличие одной полосы ДНК размером 451 п.н., генотип AB показал

три полосы ДНК размером 451, 207 и 244 п.н., ВВ генотип определялся наличием двух полос ДНК размером 207 и 244 п.н. Образование по-

лос ДНК, наблюдаемое после электрофореза, показывает, что присутствует аллель В.



Дорожки 1, 3, 8, 9, 10 – фрагменты рестрикции 451, 244, 207 п.н., соответствующие генотипу Pit-1/HinFI AB; дорожки 2, 4, 7 – фрагмент рестрикции 244, 207 п.н., соответствующий генотипу Pit-1/HinFI BB; дорожка 5 – маркер молекулярных масс 100 bp DNA Ladder; дорожка 6 – маркер молекулярных масс 1 kb DNA Ladder

Рис. 3. Электрофореграмма ДНК-типирования полиморфизма Pit-1/HinFI красной степной породы
Electrophoregram of DNA typing of Pit-1/HinFI polymorphism in red steppe breed

Частота генотипов и аллелей гена Pit-1 анализируемой группы животных
The frequency of genotypes and alleles of the Pit-1 gene in the analyzed group of animals

Хозяйство, порода скота	n	Частота генотипов			Теоретически ожидаемая гетерезиготность	χ^2	Частота аллелей	
		AA	AB (факт.)	BB			A	B
ТОО «Победа», красная степная	120	0,092	0,433	0,475	0,514	0,04	0,312	0,689
ТОО «Галицкое», симментальская	63	0,222	0,476	0,302	0,312	0,16	0,451	0,549

Соотношение генотипов выразили через формулу Харди-Вайнберга $p^2AA : 2pqAa : q^2aa$, $p + q = 1$.

На основании этих результатов было подсчитано, что у красной степной породы генотип ВВ имеет самую высокую частоту, за ним следуют АВ и АА. У симменталов региона преобладает генотип АВ. Частота аллеля В (0,689; 0,549) выше, чем аллеля А (0,312; 0,451) у обеих пород (таблица).

По критерию К. Пирсона (χ^2) фактически полученные расщепления приближены к теоретически ожидаемым (0,04; 0,16). Высокая степень достоверности совпадения фактически

наблюдавшихся данных с теоретически установленными подтверждает гипотезу о геномном равновесии генотипов гена Pit-1 у крупного рогатого скота ТОО «Победа» и ТОО «Галицкое» [17, 18].

ВЫВОДЫ

1. В исследуемых группах животных Павлодарской области наблюдается высокая частота аллеля В: у красной степной породы – 0,689, симментальской – 0,549; частота аллеля А – 0,312; 0,451 соответственно. Генетическое равновесие не нарушено; χ^2 для красной степной породы – 0,04, симменталов – 0,16.

2. Выявленные ассоциации полиморфизма гена Pit-1 могут быть использованы для отбора и подбора родительских пар при направленной селекции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Позовникова М.В., Сердюк Г.Н. Связь полиморфизма гена Pit-1 с продуктивными признаками голштинизированного черно-пестрого скота // Генетика и разведение животных. – 2017. – № 4. – С. 37–41.
2. Woollard J., Schmitz C., Freeman A. *HinfI* polymorphism at the bovine PIT1 locus // Journal of animal science. – 1994. – Vol. 72 (12). – P. 3267.
3. Бейшова И.С., Белая Е.В., Терлецкий В.П. Оценка ассоциации парных сочетаний полиморфных вариантов генов соматотропинового каскада bPit-1, bGH, bGHR и bIGF с мясной продуктивностью крупного рогатого скота аулиекольской породы казахстанской селекции // Известия ОГАУ. – 2018. – № 1 (69). – С 160–164.
4. Evaluation of Polymorphic Variants of the Genes bPit-1, bGH, bGHR as Genetic Markers of Meat Productivity in Cows of Auliekol Breed / I. Beishova, A. Belaya, A. Nametov [et al.] // Research Journal of Medical Sciences. – 2021. – Vol. 15. – P. 6–14.
5. Бейшова И.С. Влияние аллелей полиморфных генов bPIT-1, bGH и bGHR на показатели роста у крупного рогатого скота аулиекольской породы // Успехи современной науки. – 2017. – № 4. – С 160–165.
6. Sadeghi M., Mokhber M., Shahrababak M. Genetic Variation in Hypothalamic-Pituitary Axis Candidate Genes and Their Effects on Milk Production Traits in Iranian Holstein Cattle // Russian Journal of Genetics. – 2022. – Vol. 58, N 11. – P. 1393–1400.
7. Variasi Genotipe dan Alel Gen PIT1/HinfI pada Sapi Perah Friesian Holstein Lokal di Boyolali Jawa Tengah / S. Prastowo, S. Sarah, G. Pambuko, R. Vanessa // Journal of Tropical Animal and Veterinary Science. – 2022. – Vol. 12, N 1. – P. 36–44.
8. Гайнутдинова Э.Р., Сафина Н.Ю., Шакиров Ш.К. Идентификация полиморфизма гена PIT-1 в Татарстанской популяции крупного рогатого скота голштинской породы // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2019. – Т. 237 (I). – С. 40–43.
9. Kim S., Lim B., Cho J. Genome-Wide Identification of Candidate Genes for Milk Production Traits in Korean Holstein Cattle // Animals. – 2021. – N 11. – P. 1–14.
10. Ardicli S., Dincel D., Samli H. Association of polymorphisms in lipid and energy metabolism-related genes with fattening performance in Simmental cattle // Animal biotechnology. – 2022. – Vol. 33. – P. 494–504.
11. Hartati, Luthfi M., Soewandi D. Detection of growth hormone (GH/MspI, GHR/AluI, Pit1/HinfI) genes polymorphism and its association with body weight of Grati-Bali Cattle (*Bos sondaicus*) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – P. 1–10.
12. Soewandi B., Hartati, Hapsari A. Identification of growth hormone gene polymorphism and its association with body weight in PO Kebumen cattle // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – P. 1–10.
13. Association of GH, IGF1R, and PIT1 genes polymorphism with average daily gain and body measurement in Pesisir cattle / Arnim, Yurnalis, T. Afriani, D. Putra // Nusantara bioscience. – 2018. – Vol. 10, N 4. –P. 221–225.
14. Anggraeni A., Talib C., Misriant R. Genetic polymorphism of GHR|Ssp and Pit1|StuI loci of twin and multiple births in local peranakan Ongole cattle // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 788. – P. 1–8.
15. Ahmadzadeh M., Rashidi F., Eghbalsaid S. Effects of genetic polymorphism in Pit1, GH, GHR and KCN3 on milk yield and body weight of Khuzestan (Iran) water buffaloes // Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. – 2019. – Vol. 32 (2) – P. 107–116.
16. Zabeel A., Al-Bazi W., Muhammed H. Study the association of PIT1 gene polymorphism with milk yield and body weight traits of local breed Iraqi Cattle in Kerbala Province // Biochemical and Cellular Archives. – 2018. – N 18(2). – P. 1867–1871.

17. *Thuy N., Thu N., Cuong N.* Polymorphism of PIT-1 and Prolactin Genes and Their Effects on Milk Yield in Holstein Frisian Dairy Cows Bred in Vietnam // *Russian Journal of Genetics*. – 2018. – Vol. 54, N 3. – P. 346–352.
18. *Использование генетических маркеров в селекции свиней* / Г.М. Гончаренко, Е.Г. Акулич, Н.Б. Гришина, Т.С. Горячева. – Новосибирск: СибНИПТИЖ – 2011. – С. 6–12.

REFERENCES

1. Pozovnikova M.V., Serdyuk G.N., *Genetics and Animal Breeding*, 2017, No. 4, pp. 37–41. (In Russ.)
2. Woollard J., Schmitz C., Freeman A., *HinfI polymorphism at the bovine PIT1 locus*, *Journal of animal science*, 1994, Vol. 72 (12), pp. 3267.
3. Beishova I.S., Belaya E.V., Terletsky V.P., *Izvestiya OGAU*, 2018, №. 1 (69). – P. 160–164. (In Russ.)
4. Beishova I., Belaya A., Nametov A., Chuzhebaeva G., Poddudinskaya T., Tegza I., Usenbekov Y., Terletskiy V., *Evaluation of Polymorphic Variants of the Genes bPit-1, bGH, bGHR as Genetic Markers of Meat Productivity in Cows of Auliekol Breed*, *Research Journal of Medical Sciences*, 2021, Vol. 15, pp. 6–14.
5. Beishova I.S., *Successes of modern science*, 2017, No. 4, pp. 160–165. (In Russ.)
6. Sadeghi M., Mokhber M., Shahrababak M., *Genetic Variation in Hypothalamic-Pituitary Axis Candidate Genes and Their Effects on Milk Production Traits in Iranian Holstein Cattle*, *Russian Journal of Genetics*, 2022, Vol. 58, No 11, P. 1393–1400.
7. Prastowo S., Sarah S., Pambuko G., Vanessa R., *Variasi Genotipe dan Alel Gen PIT1/HinfI pada Sapi Perah Friesian Holstein Lokal di Boyolali Jawa Tengah*, *Journal of Tropical Animal and Veterinary Science*, 2022, Vol. 12, No. 1, P. 36–44.
8. Gainutdinova E.R., Safina N.Yu., Shakirov Sh.K., *Uchenye zapiski of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine*. N.E. Bauman, 2019, T. 237 (I), pp. 40–43. (In Russ.)
9. Kim S., Lim B., Cho J., *Genome-Wide Identification of Candidate Genes for Milk Production Traits in Korean Holstein Cattle*, *Animals*, 2021, No. 11, pp. 1–14.
10. Ardicli S., Dincel D., Samli H. *Association of polymorphisms in lipid and energy metabolism-related genes with fattening performance in Simmental cattle* // *Animal biotechnology*. – 2022. – Vol. 33. – P. 494–504.
11. Hartati, Luthfi M., Soewandi D. *Detection of growth hormone (GH/MspI, GHR/AluI, Pit1/HinfI) genes polymorphism and its association with body weight of Grati-Bali Cattle (Bos sondaicus)* // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2021 – P. 1–10.
12. Soewandi B., Hartati, Hapsari A. *Identification of growth hormone gene polymorphism and its association with body weight in PO Kebumen cattle* // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2021 – P. 1–10.
13. Arnim, Yurnalis, Afriani T., Putra D. *Association of GH, IGF1R, and PIT1 genes polymorphism with average daily gain and body measurement in Pesisir cattle* // *Nusantara bioscience*. – 2018. – Vol. 10. – No 4. –P. 221–225.
14. Anggraeni A., Talib C., Misriant R. *Genetic polymorphism of GHR|Ssp and Pit1|Stu1 loci of twin and multiple births in local peranakan Ongole cattle* // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2020 – Vol. 788. – P. 1–8.
15. Ahmadzadeh M., Rashidi F., Eghbalsaied S. *Effects of genetic polymorphism in Pit1, GH, GHR and KCN3 on milk yield and body weight of Khuzestan (Iran) water buffaloes*. // *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. – 2019 – Vol. 32(2) – P. 107–116.
16. Zabeel A., Al-Bazi W, Muhammed H., *Study the association of PIT1 gene polymorphism with milk yield and body weight traits of local breed Iraqi Cattle in Kerbala Province*, *Biochemical and Cellular Archives*, 2018, No. 18 (2), pp. 1867–1871.
17. *Thuy N., Thu N., Cuong N.* Polymorphism of PIT-1 and Prolactin Genes and Their Effects on Milk Yield in Holstein Frisian Dairy Cows Bred in Vietnam, *Russian Journal of Genetics*, 2018, Vol. 54, No. 3, pp. 346–352.

18. Goncharenko G.M, Akulich E.G., Grishina N.B., Goryacheva T.S., Ispol'zovanie geneticheskikh markerov v seleksii sviney (The use of genetic markers in pig breeding), Novosibirsk: SibNIP-TIZH, 2011, pp. 6–12.

ГОМЕОСТАЗ СОБАК ПРИ ИХ КОРМЛЕНИИ СУХИМ КОРМОМ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА И КОРМОМ ДОМАШНЕГО ПРИГОТОВЛЕНИЯ

К.В. Жучаев, доктор биологических наук, профессор

С.П. Князев, кандидат биологических наук, доцент

Н.В. Ефанова, кандидат биологических наук, доцент

Л.М. Осина, кандидат биологических наук, доцент

С.В. Баталова, кандидат биологических наук, доцент

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: ngaufiziologi@mail.ru

Ключевые слова: домашняя собака, тип кормления, сухой корм, кровь, кишечная флора, гомеостаз.

Реферат. Цель работы состояла в испытании вновь разработанной новой рецептуры отечественного сухого корма для собак. Проведена оценка некоторых показателей гомеостаза собак, переведенных с натурального типа кормления на полнорационный сухой корм. Исследования проводили на двух группах собак, содержащихся их владельцами в квартирных условиях и на приусадебных участках. Собаки 1-й группы (опытной) были при этом переведены с кормления кормом домашнего приготовления на полнорационный сухой корм промышленного производства. Рацион собак 2-й группы (контрольной) не менялся и по-прежнему состоял из мясопродуктов, каш и овощей. Биоматериал для исследований (кровь, фекалии) брали в начале опыта и спустя два месяца контролируемого кормления. Изучали биоэлементный и биохимический состав крови, гематологические показатели и микробиологию кала. Оценивали кондиции собак, их общее клиническое состояние, включая определение живой массы в начале и по окончании двухмесячного исследования. Полученные результаты элементного анализа показали, что спустя два месяца после перевода собак 1-й группы с «натурального» типа кормления на сухой корм в крови животных снизилась концентрация мышьяка, свинца, стронция, хрома, йода, селена и цинка, но повысились уровни лития, никеля и молибдена. Из биохимических и гематологических показателей статистически значимо выросли AST, ALT, β -липопротеиды, амилаза, липаза, общий белок и гемоглобин, но снизился уровень щелочной фосфатазы. Кроме того, перевод собак на сухой корм способствовал снижению в 1 г фекалий концентрации *E.coli* с нормальной ферментативной активностью, лактозонегативной *E.coli*, микрофлоры рода протей и дрожжеподобных грибов. У животных 2-й (контрольной) группы за период опыта отмечен рост количества микрофлоры рода протей и лактозонегативной *E.coli*. В кишечнике собак обеих групп в исследуемый период наблюдалось увеличение кокковой флоры и снижение количества *E.coli* hemolytic и *E.aerogenes*.

HOMEOSTASIS OF DOGS WHEN FEEDING THEM WITH INDUSTRIALLY PRODUCED DRY FOOD AND HOME-MADE FOOD

K.V. Zhuchaev, Doctor of Biological Sciences, Professor

S.P. Knyazev, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

N.V. Efanova, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

L.M. Osina, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

S.V. Batalova, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: ngaufiziologi@mail.ru

Keywords: domestic dog, type of feeding, dry food, blood, intestinal flora, homeostasis.

Abstract. The work aimed to test a newly developed new formulation of domestic dry food for dogs. Some homeostasis indicators in dogs transferred from natural feeding to complete dry food were assessed. The studies were conducted on two groups of dogs kept by their owners in apartment conditions and on personal plots. Dogs of the 1st group (experimental) were transferred from feeding homemade food to industrially produced complete dry food. The diet of dogs in group 2 (control) did not change and still consisted of meat products, cereals and vegetables.

Biomaterial for research (blood, faeces) was taken at the beginning of the experiment and after two months of controlled feeding. The bioelemental and biochemical composition of blood, haematological parameters and faecal microbiology were studied. The dogs' and general clinical conditions were assessed, including determination of live weight at the beginning and end of the two-month study. The results of the elemental analysis showed that two months after the transfer of dogs of the 1st group from the "natural" type of feeding to dry food in the blood of the animals, the concentration of arsenic, lead, strontium, chromium, iodine, selenium and zinc decreased, but the levels of lithium increased nickel and molybdenum. Of the biochemical and haematological parameters, AST, ALT, β -lipoproteins, amylase, lipase, total protein and haemoglobin increased statistically significantly, but alkaline phosphatase level decreased. In addition, switching dogs to dry food contributed to a decrease in 1 g of faeces in the concentration of *E. coli* with regular enzymatic activity, lactose-negative *E. coli*, microflora of the genus *Proteus* and yeast-like fungi. During the experimental period, animals of the 2nd (control) group showed an increase in the amount of microflora of the genus *Protea* and lactose-negative *E. coli*. In the intestines of dogs of both groups during the study period, an increase in coccal flora and a decrease in the number of *E. coli* hemolytic and *E. aerogenes* were observed.

Сбалансированное кормление является одним из важных факторов нормального роста, развития, поддержания здоровья и долголетия собак [1–5]. Кормление «натуральными» кормами, включающими в себя мясопродукты, каши, овощи, творог, связано с достаточно большим количеством сложностей при их приготовлении в домашних условиях владельцами собак, так как требует тщательного расчета норм потребления корма, основных питательных веществ, витаминов, макро- и микроэлементов для удовлетворения потребностей собаки в зависимости от возраста, породы, рабочего использования, физиологических особенностей и вида патологий. Поэтому в разных странах мира широкое распространение получили фабричные корма, приготовленные по уже отработанным промышленным технологиям и сбалансированные по основным питательным веществам [6]. Использование их при выращивании и содержании собак подтвердило целесообразность такого типа кормления [7, 8]. В России рынок кормов для собак в основном представлен зарубежными производителями. Однако в последние годы на полках зоомагазинов в большом количестве появились корма отечественного производства.

Цель нашей работы заключалась в испытании разработанного авторами нового отечественного корма для собак. Была проведена оценка некоторых показателей гомеостаза собак, переведенных с «натурального» типа кормления кормом домашнего приготовления на сухой корм. Рецепт корма разработана с учетом соблюдения сбалансированности и полнорационности. Следует отметить, что этот корм в настоящее время производится в больших объемах и с успехом реализуется среди владельцев собак – как любителей, так и в ведомственных питомниках, где отмечают охотное поедание его животными, сохраняющими

отличные кондиции и проявления клинического здоровья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследований в осенний период были сформированы две группы собак в возрасте от 2 до 6 лет, соответствующем физиологической зрелости. В начале опыта достоверных различий по изучаемым показателям между собаками разного возраста не было выявлено, что позволило объединить их в группы без учета возраста. Под наблюдением находились доберманы, среднеазиатские овчарки, лабрадоры ретриверы и кавказские овчарки. Собаки содержались в квартирах или уличных вольерах с минимум двукратным ежедневным активным выгулом и находились на «натуральном» типе кормления (кормом домашнего приготовления). Собаки 1-й группы ($n=11$) были с началом опыта переведены с «натурального» типа кормления на полнорационный сухой корм с говядиной. В состав корма входили следующие компоненты: злаки (пшеница, крупа овсяная, зародыш пшеничный), мука кормовая животного происхождения (мясная), мясные продукты, шрот соевый, масло подсолнечное, глютен кукурузный, морковь, жиры животного происхождения, а также премикс стороннего производства, содержащий в допустимых концентрациях витамины (A, E, D3, K3, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B12, H), микроэлементы (магний, железо, цинк, марганец, медь, йод, селен), консервант и антиоксидант, разрешенные к применению в РФ. Гарантированные показатели питательности (%): сырой протеин (белок) – от 22, сырой жир – от 13, сырая клетчатка – от 3, кальций – от 0,6, фосфор – от 0,5, влажность – до 8, обменная энергия – 350 ккал/100 г.

Животные 2-й (контрольной) группы ($n = 7$) по-прежнему продолжали получать в своем рационе в течение всего двухмесячного периода исследований корм, приготовляемый владельцами, который включал мясо, каши и овощи.

Биоматериал для исследований (кровь и образцы кала) брали в начале опыта и по истечении двух месяцев, по окончании испытаний. Биоэлементный состав крови изучали на квадрупольном масс-спектрометре Elan 9000 и атомно-эмиссионном спектрометре Optima 2000DV методами масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой [3, 9].

Биохимические показатели крови определяли на биохимическом анализаторе Seamaty SMT120V (Statfax), белковые фракции – методом электрофореза на горизонтальной электрофоретической камере SE-2. Подсчет лейкоцитов, эритроцитов, лейкограммы и определение гемоглобина осуществляли на анализаторе Mindray BC-2800 Vet. Для бактериологического исследования фекалий использовали стандартные питательные среды. Количество микроорганизмов выражали в миллионах на 1 г, процентах и в lg абсолютных чисел колониеобразующих единиц на 1 г фекалий (lg КОЕ/г), например, $10^7 = \lg 7$.

Полученные данные были статистически обработаны с помощью программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате биоэлементного анализа плазмы крови на начальном этапе опыта у собак обеих групп в крови было обнаружено повышенное содержание алюминия, мышьяка, хрома, железа, ртути, йода, калия, марганца, молибдена, натрия, фосфора, свинца, стронция и селена. Уровень стронция находился на верхней границы референсных значений. Кроме того, в крови животных обеих групп были повышены уровни щелочной фосфатазы, а в фекалиях обнаружены *E. coli hemolytic*, *E. aerogenes*.

Через 2 месяца кормления собак 1-й группы сухим кормом в крови животных снизились до нормальных значений концентрации

мышьяка – на 34,9 % ($P < 0,05$), свинца – на 55,0 ($P < 0,01$) и стронция – на 26,3 % ($P < 0,01$). Снизилась, но остались выше референсных значений показатели хрома – на 28,2 % ($P < 0,05$), йода – на 63,8 ($P < 0,001$) и селена – на 54,2 % ($P < 0,001$). Снижение уровня цинка составило 34,2 % ($P < 0,05$) (табл. 1). Однако колебания концентрации цинка в крови собак 1-й группы происходили в пределах референсных значений. (Данные по нормам содержания в крови собак макро- и микроэлементов представлены лабораторией центра биотической медицины, г. Москва).

Из статистически значимых количественных повышений биоэлементов в плазме крови 1-й группы животных следует отметить увеличение концентрации лития на 68,8 % ($P < 0,001$), никеля – на 54,7 ($P < 0,001$) и молибдена – на 47,2 % ($P < 0,001$). Во 2-й группе животных биоэлементный статус крови за период опыта не претерпевал статистически значимых изменений.

Исследования биоэлементного состава крови у собак г. Новосибирска проведены не впервые. Ранее в работах Н.В. Ефановой, Л.М. Осиной, С.В. Баталовой и др. были обнаружены биоэлементные различия в составе крови и шерсти собак в зависимости от условий содержания в г. Новосибирске, загородных поселениях Новосибирской области и в ряде городов России [10–12]. Выявлено влияние разных типов кормления на биоэлементный статус шерсти собак [13].

Изменения биохимических показателей крови у собак 1-й группы характеризовались увеличением концентраций АСТ на 30,8 % ($P < 0,001$), АЛТ – на 37,5 ($p < 0,01$), β -липопротеидов – на 17,4 ($P < 0,05$), амилазы – на 53,2 ($P < 0,001$), липазы – на 74,2 ($P < 0,001$) и общего белка – на 13,4 % ($P < 0,01$). В то же самое время у собак 1-й группы снизился уровень щелочной фосфатазы на 82,6 % ($P < 0,001$), что соответствовало значениям нормы [8, 9]. Аналогичные повышения уровней АСТ на 50 % ($p < 0,001$), АЛТ – на 48,4 % ($p < 0,001$), холестерина – на 30,2 % ($p < 0,05$) и β -липопротеидов – на 24,6 % ($p < 0,001$) наблюдались и у собак 2-й группы. Однако во 2-й (контрольной) группе собак уровень щелочной фосфатазы оставался выше референсного значения [14, 15] (табл. 2).

Таблица 1

Динамика биоэлементного состава крови у собак перед началом двухмесячного опыта (1-е исследование) и после его окончания (2-е исследование), мкг/мл

Dynamics of the bioelemental composition of blood in dogs before the start of a two-month experiment (1st study) and after its completion (2nd study), µg/ml

Биоэлемент	1-я группа		2-я группа	
	1-е исследование	2-е исследование	1-е исследование	2-е исследование
Al	0,0450±0,0040	0,0450±0,0039	0,0390±0,0063	0,0390±0,0052
As	0,01940±0,00270	0,01263±0,00120*	0,01823±0,00310	0,01822±0,00280
Ca	121,40±8,01	119,50±5,13	163,20±11,39	154,10±7,44
Cd	0,000370±0,000052	0,000380±0,000049	0,002120±0,000410	0,002130±0,000350
Cr	0,16025±0,01000	0,11503±0,01400*	0,14925±0,01900	0,14824±0,02200
Cu	0,45602±0,07600	0,55824±0,06800	0,52101±0,04000	0,52113±0,03000
Fe	3,57±0,41	4,30±0,48	4,43±0,27	4,75±0,46
Hg	0,007720±0,000580	0,007400±0,00630	0,005191±0,000100	0,005189±0,000300
I	0,29054±0,03500	0,10510±0,01600***	0,32100±0,01800	0,31130±0,02000
K	267,30±8,61	256,90±6,45	243,20±13,70	236,70±8,91
Li	0,00256±0,00021	0,00820±0,00039***	0,00380±0,00540	0,00389±0,00660
Mg	19,28±1,66	19,54±1,20	21,34±1,78	21,36±2,11
Mn	0,00945±0,00081	0,00840±0,00065	0,01110±0,00130	0,01100±0,00100
Na	3814,00±87,43	3874,00±91,15	4213,00±78,12	4198,00±112,31
Ni	0,03845±0,00400	0,08496±0,00310***	0,04096±0,00620	0,04064±0,00530
P	219,60±6,31	219,00±7,92	242,30±6,80	243,90±7,11
Pb	0,00238±0,00022	0,00107±0,00033**	0,00272±0,00048	0,00299±0,00044
Se	0,92878±0,01700	0,42543±0,02000***	0,89422±0,04100	0,89118±0,03800
Mo	0,00877±0,00036	0,01661±0,00095***	0,00794±0,00011	0,00790±0,00014
Sr	0,12172±0,00710	0,08973±0,00450**	0,16332±0,01400	0,16327±0,01900
Zn	1,17±0,15	0,77±0,09*	1,22±0,26	1,24±0,19

Примечание. Здесь и далее: * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001.

Таблица 2

Динамика биохимических показателей крови у собак перед началом опыта и после его окончания
Dynamics of biochemical blood parameters in dogs before the start of the experiment and after its completion

Показатели	1-я группа		2-я группа	
	1-е исследование	2-е исследование	1-е исследование	2-е исследование
1	2	3	4	5
Общий белок, г/л	64,64±2,11	74,64±1,39**	67,71±2,68	68,16±1,96
Альбумины, %	51,36±1,11	52,27±1,96	54,29±1,34	54,16±1,28
α ₁ -глобулины, %	5,27±0,67	5,54±0,48	4,43±0,56	4,03±0,37
α ₂ -глобулины, %	9,09±0,71	8,82±0,62	8,83±0,62	8,83±0,84
β-глобулины, %	13,00±1,01	12,64±1,45	12,86±0,83	13,0±1,00
γ-глобулины, %	21,18±2,31	20,73±1,86	19,36±1,36	20,0±1,73
Мочевина, ммоль/л	4,65±0,38	5,55±0,59	4,29±0,50	4,96±0,44
Мочевая кислота, ммоль/л	0,230±0,050	0,330±0,030	0,15±0,014	0,19±0,017

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
Билирубин общий, мкмоль/л	6,26±0,36	6,84±0,80	6,37±0,42	5,55±0,69
ALT, мкмоль/л	0,350±0,040	0,560±0,030**	0,330±0,040	0,640±0,020***
AST, мкмоль/л	0,270±0,012	0,390±0,024***	0,300±0,017	0,600±0,025 ***
Глюкоза, ммоль/л	4,53±0,20	4,20±0,14	4,41±0,18	4,4±0,21
Холестерин, ммоль/л	5,25±0,30	6,17±0,48	4,33±0,48	6,2±0,63*
β-липопротеиды, ммоль/л	0,570±0,040	0,690±0,030*	0,460±0,017	0,610±0,010***
Амилаза, ед/л	32,29±3,28	69,00±7,16***	17,43±1,36	19,83±3,48
Щелочная фосфатаза, ед/л	720,64±19,30	125,45±9,28***	966,57±113,40	818,00±92,50
Г-ГТФ, ед/л	1,73±0,25	2,45±0,27	1,57±0,19	1,58±0,33
Липаза, ед/л	197,36±9,24	766,00±21,30***	95,73±8,37	93,33±11,17

Зарегистрированное повышение в крови собак обеих групп показателей липидного спектра и трансаминаз может свидетельствовать о проявлении адаптационной реакции организма животных в связи с интенсификацией энергетического обмена в условиях снижения температуры окружающей среды в осенний период.

Количественный рост уровней амилазы и липазы в крови собак 1-й группы, по всей вероятности, является следствием увеличения нагрузки на ферментные системы поджелудочной железы крахмалсодержащими и жировыми компонентами корма. Показатели липазы и амилазы в крови собак опытной группы оставались в пределах референсных значений [15].

За период опыта у собак 1-й группы на 5,6 % ($P<0,001$) увеличилась концентрация гемоглобина крови. В то же время в этой группе животных наблюдался рост концентрации железа в плазме крови (см. табл. 1). Во 2-й группе статистически достоверных изменений в гематологических показателях обнаружено не было (табл. 3).

Следует отметить, что колебания в крови собак показателей AST, ALT и β-липопротеидов, амилазы, липазы, гемоглобина, общего белка и холестерина происходили в пределах границ нормы [14, 15]

Таблица 3

Динамика гематологических показателей у собак
Dynamics of hematological parameters in dogs

Показатель	1-я группа		2-я группа	
	1-е исследование	2-е исследование	1-е исследование	2-е исследование
Эритроциты, $10^{12}/л$	7,36±1,11	7,83±1,38	7,24±1,75	7,49±1,44
Гемоглобин, г/л	168,00±1,39	178,00±2,00 ***	162,00±2,18	168,00±2,00
Лейкоциты, $10^9/л$	8,36±2,61	10,34±1,92	9,13±2,30	10,12±1,70
Нейтрофилы, %				
юные	-	-	-	-
палочкоядерные	5,11±0,86	4,37±0,63	4,20±0,62	3,90±0,54
сегментоядерные	59,80±2,33	62,40±2,65	61,00±3,21	64,40±3,97
Эозинофилы, %	4,20±0,43	3,90±0,31	5,30±0,65	6,00±0,72
Базофилы, %	1,30±0,14	1,10±0,17	1,00±0,11	1,20±0,10
Моноциты, %	7,34±0,98	6,92±0,77	5,18±0,68	6,45±0,70
Лимфоциты, %	22,30±1,41	21,90±1,12	23,30±1,13	18,10±1,00

Изменения кишечной флоры у собак, переведенных с натурального типа кормления на

сухой корм, коснулись практически всех видов флоры. Количество кокковой флоры по-

высилось на 35,22 % ($P<0,001$). Концентрация кишечной палочки с нормальной ферментативной активностью в 1 г кала снизилась на 8,93 % ($P<0,05$), *E. coli* со слабой ферментативной активностью – на 47,02 ($P<0,001$), лактозонегативной *E. coli* – на 24,5 ($P<0,05$), *E. coli* hemolytic – на 65,94 ($P<0,01$), *E. aerogenes* – на

71,43 ($P<0,001$), микрофлоры рода протей – на 50,00 ($P<0,01$) и дрожжеподобных грибов – на 50,00 % ($P<0,001$) (табл. 4). Влияние типа кормления на количественный и спектральный фон кишечной палочки у собак был ранее показан в работе Н.В. Ефановой, Л.М. Осиной, С.В. Баталовой [16].

Таблица 4

Динамика показателей кишечной флоры
Dynamics of intestinal flora indicators

Признак	1-я группа		2-я группа	
	1-е исследование	2-е исследование	1-е исследование	2-е исследование
1	2	3	4	5
<i>E. coli</i> с нормальной ферментативной активностью, млн/г	396,83±12,00	361,40±7,90*	461,40±13,72	427,10±10,30
<i>E. coli</i> со слабой ферментативной активностью, %	3,19±0,32	1,69±0,06***	4,70±0,06	3,32±0,72
1	2	3	4	5
<i>E. coli</i> лактозонегативные, %	2,00±0,16	1,51±0,13*	1,59±0,13	2,60±0,21***
<i>E. coli</i> hemolytic, %	1,38±0,22	0,47±0,09**	9,40±3,99	2,00±0,49
Кокковая флора, %	5,83±0,33	9,00±0,45***	6,90±0,45	10,00±0,68**
Стафилококк (lg)	3,00±0,49	4,00±0,50	6,00±0,50	5,00±0,90
<i>E. aerogenes</i> (lg)	7,00±0,45	2,00±0,40***	9,00±0,48	1,00±0,26***
Микроорганизмы рода протей, (lg)	2,00±0,21	1,00±0,10**	1,00±0,34	5,00±0,64***
Дрожжеподобные грибы (lg)	6,00±0,45	3,00±0,50***	3,00±0,50	2,00±0,70
Бифидобактерии (lg)	9,00±0,00	9,00±0,00	9,00±0,00	9,00±0,00

Во 2-й группе собак снизилась концентрация *E. aerogenes* – на 88,89 % ($P<0,001$), но увеличилось количество лактозонегативной *E. coli* – на 38,85 ($P<0,001$), кокковой флоры – на 31,00 ($P<0,01$) и микрофлоры рода протей – на 80,00 % ($P<0,001$).

Результаты исследования показали, что вне зависимости от типа кормления в кишечнике собак обеих групп наблюдалось увеличение кокковой флоры и снижение количества *E. coli* hemolytic и *E. aerogenes*. Присутствие *E. coli* hemolytic и *E. aerogenes* в кишечнике животных нежелательно, так как приводит к развитию патологических процессов в слизистой оболочке кишок. Можно предположить, что снижение уровня *E. coli* hemolytic и *E. aerogenes* у собак

обеих групп обусловлено уменьшением или полным прекращением поступления данного вида флоры из окружающей среды в желудочно-кишечный тракт животных в связи с появлением отрицательных температур в осенний период. Подобные результаты были ранее получены в исследованиях Н.В. Ефановой, Л.М. Осиной, С.В. Баталовой [17]. Не исключено, что микрофлора почвы, с которой собаки имеют тесный контакт во время прогулок (обнюхивание и облизывание меток, поедание травы, вылизывание лап после прогулки), играет значимую роль в формировании кишечного микробиоценоза у данного вида животных в весенний, летний и осенний периоды.

ВЫВОДЫ

1. На начальном этапе исследований у собак, получавших натуральные корма, обнаружен ряд биоэлементных нарушений, сопровождающихся повышением в крови концентраций алюминия, мышьяка, хрома, железа, ртути, йода, калия, марганца, молибдена, натрия, никеля, фосфора, свинца и селена. Спустя 2 месяца от начала кормления собак 1-й группы сухим кормом в крови животных нормализовалось содержание мышьяка, свинца и стронция. Снизилась, но остались выше референсных значений концентрации хрома, йода, селена и повысились уровни лития, никеля и молибдена. Снижение уровня цинка происходило в пределах физиологической нормы.

2. За период наблюдения у собак обеих групп в крови увеличились показатели ALT, AST, β -липопротеидов. У собак, переведенных с натурального типа кормления на сухой корм, кроме перечисленных показателей, выросли концентрации амилазы, липазы, общего белка крови, гемоглобина и снизился показатель щелочной фосфатазы до нормы. Следует отметить, что перед началом опыта уровень щелочной фосфатазы у собак обеих групп превышал границу нормы. В контрольной группе живот-

ных уровень щелочной фосфатазы снижался, но по-прежнему находился выше референсного значения. Изменения показателей ALT, AST, β -липопротеидов, амилазы, липазы, общего белка и гемоглобина у собак происходили в границах референсных значений.

3. Перевод животных на сухой корм способствовал снижению в 1 г фекалий концентрации *E. coli* с нормальной ферментативной активностью, *E. coli* лактозонегативной, микрофлоры рода протей и дрожжеподобных грибов. У животных с натуральным типом кормления за период опыта отмечился рост количества микрофлоры рода протей и лактозонегативной *E. coli*. Общим для собак с разным типом кормления стало снижение в фекалиях количества *E. coli* hemolytic, *E. aerogenes* и повышение количества представителей кокковой флоры.

4. На протяжении всего периода наблюдений отрицательных изменений в состоянии габитуса, функциональной активности желудочно-кишечного тракта и прочих показателей здоровья у собак не отмечалось.

5. Результаты исследований показали, что испытуемый корм не оказывает негативного влияния на гомеостаз и здоровье собак и может быть рекомендован для кормления этого вида животных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колесниченко Л.С. Биоэлементы: источники, обмен, функции, патология. – Иркутск, 2011. – 80 с.
2. Новиков М.И. Динамика накопления биогенных макро- и микроэлементов в костной ткани собак в постнатальном онтогенезе и в условиях чрескостного дистракционного остеосинтеза: дис. ...канд. биол. наук. – Нижний Новгород, 2008. – 138 с.
3. Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. – СПб.: Наука, 2008. – 544 с.
4. Кормление и болезни собак и кошек. Диетическая терапия / А.А. Стекольников, Г.Г. Щербаков, А.В. Коробов [и др.]. – СПб.: Лань, 2005. – 605 с.
5. Хохрин С.Н. Кормление собак. – СПб.: Лань, 2001. – 192 с.
6. Книга Waltham о кормлении домашних животных / подред. А. Бургер. – М.: Биоинформсервис, 1997. – 190 с.
7. Личностные качества и поведение дрессируемых собак в Сибири: особенности их выращивания и содержания / С.П. Князев, Е.А. Степанова, А.А. Шваб, А.Н. Лисовец, И.Н. Воронцова // Актуальные вопросы ветеринарной медицины: материалы Сиб. междунар. вет. конгр. – Новосиб. гос. аграр. ун-т. – Новосибирск: 2005. – С. 33–34.
8. Купряшова Н.Д., Князев С.П., Шваб А.А. Поведение и здоровье собак при скормливании им полнорационного сухого корма // Актуальные проблемы животноводства: наука, производство и образование: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию зооинженер. фак. Новосиб. гос. аграр. ун-та. – Новосибирск: НГАУ, 2006. – С. 43–44.
9. Рустембекова С.А., Барабошкина Т.А. Микроэлементозы и факторы экологического риска. – М.: Логос, 2006. – 112 с.
10. Влияние экологического окружения на элементный статус собак / Н.В. Ефанова, С.В. Баталова, Л.М. Осина, А.А. Туркова // Актуальные проблемы агропромышленного

комплекса: сб. тр. науч.-практ. конф. преподавателей, студентов, магистрантов и аспирантов, посвящ. 80-летию Новосиб. ГАУ. 2016. – С. 148–151.

11. Ефанова Н.В., Хондаченко Д.Д. Мониторинг экологической обстановки города Новосибирска и посёлка Колывань по элементному составу шерсти собак // Современные тенденции развития науки и технологий: сб. науч. тр. по материалам VII Междунар. науч.-практ. конф. – Белгород, 2015. – № 7, ч. 1. – С. 17–19.
12. Оценка экологического состояния городов Москвы, Ялты и Новосибирска по биоэлементному составу шерсти собак / Н.В. Ефанова, С.В. Баталова, Л.М. Осина, В.В. Виноградова // *Инновации и продовольственная безопасность*. – 2022. № 1 (35). – С. 20–30.
13. Ефанова Н.В., Осина Л.М., Баталова С.В. Особенности биоэлементного статуса шерсти собак с разным типом кормления // *Инновации и продовольственная безопасность*. – 2022. – № 4 (38). – С. 106–109.
14. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики / И.П. Кондрахин, А.В. Архипов, В.И. Левченко [и др.]. – М.: КолосС, 2004. – 520 с.
15. Медведева М.А. Клиническая ветеринарная лабораторная диагностика. – М.: Аквариум – Принт, 2009. – С. 120–131.
16. Влияние типа кормления на показатели гомеостаза у собак / Н.В. Ефанова, С.В. Баталова, Л.М. Осина, В.Н. Келер // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова*. – 2018. – № 2 (51). – С. 55–61.

REFERENCES

1. Kolesnichenko L.S., Biojelementy: istochniki, obmen, funkcii, patologija (Bioelements: sources, exchange, functions, pathology), Irkutsk, 2011, 80 p.
2. Novikov M.I., Dinamika nakopleniya biogennyh makro- i mikrojelementov v kostnoj tkani sobak v postnatal'nom ontogeneze i v uslovijah chreskostnogo distrakcionnogo osteosinteza (Dynamics of accumulation of biogenic macro- and microelements in the bone tissue of dogs in postnatal ontogenesis and under conditions of transosseous distraction osteosynthesis), Nizhnij Novgorod, 2008, 138 p.
3. Oberlis D., Harland B., Skal'nyj A., Biologicheskaja rol' makro- i mikrojelementov u cheloveka i zhivotnyh (The biological role of macro- and microelements in humans and animals), Sankt-Peterburg: Nauka, 2008, 544 p.
4. Stekol'nikov A.A., Shherbakov G.G., Korobov A.V., Starchenkov S.V., Tarnuev Ju.A., Hohrin S.N., Jelenschleger A.A., Kormlenie i bolezni sobak i koshek. Dieticheskaja terapija (Feeding and diseases of dogs and cats. Diet Therapy), Sankt-Peterburg: Lan', 2005, 605 p.
5. Hohrin S.N., Kormlenie sobak (Feeding dogs), Sankt-Peterburg: Lan', 2001, 192 p.
6. Kniga Waltham o kormlenii domashnih zhivotnyh (Waltham's Pet Feeding Book), Moskow: Bioinformservis, 1997, 190 p.
7. Knjazev S.P., Stepanova E.A., Shvab A.A., Lisovec A.N., Voroncova I.N., Aktual'nye voprosy veterinarnoj mediciny (Topical issues of veterinary medicine), Materials of the Siberian International Veterinary Congress, Novosibirsk, 2005, pp. 33–34. (In Russ.)
8. Kuprjashova N.D., Knjazev S.P., Shvab A.A., Aktual'nye problemy zhivotnovodstva: nauka, proizvodstvo i obrazovanie (Actual problems of animal husbandry: science, production and education), Proceedings of the Conference Title, Novosibirsk: NGAU, 2006, pp. 43–44. (In Russ.)
9. Rustembekova S.A., Baraboshkina T.A., Mikrojelementozy i faktory jekologicheskogo riska (Microelementoses and environmental risk factors), Moscow: Logos, 2006, 112 p.
10. Efanova N.V., Batalova S.V., Osina L.M., Turkova A.A., Aktual'nye problemy Agropromyshlennogo kompleksa (Actual problems of the agro-industrial complex), Proceedings of the Conference Title, 2016, pp. 148–151. (In Russ.)
11. Efanova N.V., Hondachenko D.D., Sovremennye tendencii razvitija nauki i tehnologii (Modern trends in the development of science and technology), Proceedings of the Conference Title, 2015, No. 7, chast' 1, pp. 17–19. (In Russ.)
12. Efanova N.V., Batalova S.V., Osina L.M., Vinogradova V.V., Innovacii i prodovol'stvennaja bezopasnost, 2022, No. 1 (35), pp. 20–30. (In Russ.)

13. Efanova N.V., Osina L.M., Batalova S.V., *Innovacii i prodovol'stvennaja bezopasnost*, 2022, No. 4 (38), pp. 106–109. (In Russ.)
14. Kondrahin I.P., Arhipov A.V., Levchenko V.I., Talanov G.A., Frolova L.A., Novikov V.Je., *Metody veterinarnoj klinicheskoj laboratornoj diagnostiki* (Methods of veterinary clinical laboratory diagnostics), Moscow: KolosS, 2004, 520 p.
15. Medvedeva M.A., *Klinicheskaja veterinarnaja laboratornaja diagnostika* (Clinical veterinary laboratory diagnostics), Moscow: Akvarium – Print, 2009, pp. 120–131.
16. Efanova N.V., Batalova S.V., Osina L.M., Keler V.N., *Vestnik Burjatskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii imeni V.R. Filippova*, 2018, No. 2 (51), pp. 55–61. (In Russ.)
17. Efanova N.V., Batalova S.V., Osina L.M., Zahvatova N.S., *Vestnik Burjatskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii imeni V.R. Filippova*, 2018, No. 3 (52), pp. 66–72. (In Russ.)

БИОМЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ БАКТЕРИОЦИНОВ И ГЛИЦЕРОЛАТОВ – ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ МАСТИТА У КОРОВ

М.Н. Исакова, кандидат ветеринарных наук

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия

E-mail: Tmarya105@yandex.ru

Ключевые слова: высокопродуктивные коровы, мастит, фармакологические композиции, схемы лечения, бактериоцин, низин, вариант низина А, глицеролаты кремния, бисглицеролаты бора.

Реферат. Проанализированы отечественные и зарубежные данные биомедицинского и ветеринарного применения бактериоцина низина. Механизм действия низина основан на повреждении структур бактериальной клетки, что приводит к последующей гибели клетки-мишени и дает возможность снизить развитие микробной резистентности. Низин, как и большинство бактериоцинов, имеет высокую биологическую активность за счет эффективности в наномолярном диапазоне и относится к малотоксичным веществам. В отличие от антибиотиков, бактериоцин низин полностью расщепляется в организме человека и животных. При анализе источников выявлено безопасное и эффективное применение низина в клинической практике лечения респираторных, желудочно-кишечных и кожных инфекций, воспалительных процессов полости рта человека за счет наличия антимикробного действия относительно ряда микроорганизмов. Установлено, что антимикробные пептиды проявляют синергетическое и цитотоксическое действие. Определено эффективное действие низина в отношении широкого спектра возбудителей мастита животных. Проведено изучение литературных источников по применению кремнийборосодержащих глицеролатов в медицинской и ветеринарной практике. Установлено эффективное применение глицеролатов в лечении воспалительных заболеваний человека и животных за счет их репаративного и регенерирующего действия, а также высокой транскутанной проводимости. Проведенный анализ данных подтверждает целесообразность применения бактериоцина низина совместно с глицеролатами кремния и бисглицеролатами бора для разработки фармацевтических композиций.

BIOMEDICAL ASPECTS OF THE USE OF BACTERIOCINS AND GLYCEROLATES – POSSIBILITY OF USE FOR THE TREATMENT OF MASTITIS IN COWS

M.N. Isakova, PhD in Veterinary Sciences

Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

E-mail: Tmarya105@yandex.ru

Keywords: highly productive cows, mastitis, pharmacological compositions, treatment regimens, bacteriocin, nisin, nisin A variant, silicon glycerolates, boron bisglycerolates.

Abstract. Domestic and foreign data on bacteriocin nisin's biomedical and veterinary use are analysed. The mechanism of action of Nisin is based on damage to the structures of the bacterial cell, which leads to the subsequent death of the target cell and makes it possible to reduce the development of microbial resistance. Like most bacteriocins, Nisin has high biological activity due to its effectiveness in the nanomolar range and is a low-toxic substance. Unlike antibiotics, bacteriocin nisin is completely degraded in the body of humans and animals. An analysis of the sources revealed the safe and effective use of Nisin in clinical practice for treating respiratory, gastrointestinal and skin infections and inflammatory processes in the human oral cavity due to an antimicrobial effect against several microorganisms. It has been established that antimicrobial peptides exhibit synergistic and cytotoxic effects. The effective action of nisin against a wide range of pathogens of animal mastitis has been determined. A study of literary sources on using silicon-boron-containing glycerolates in medical and veterinary practice was carried out. The effective use of glycerolates in treating inflammatory diseases in humans and animals has been established due to their reparative and regenerative effects and high transcutaneous conductivity. The data analysis confirms the feasibility of using bacteriocin nisin with silicon glycerolates and boron bisglycerolates to develop pharmaceutical compositions.

В современной зарубежной и отечественной литературе имеется достаточное количество информации, посвященной изучению проблемы мастита у коров, приводятся различные подходы к лечению и профилактике данного заболевания у продуктивных животных [1–3]. Однако заболеваемость животных в стадах нашей страны остается на достаточно высоком уровне, так, в Свердловской области на протяжении десятилетия она находится в пределах 27–33% [4]. В схемах лечения воспалительных заболеваний вымени животных наиболее часто применяют антибиотики, но обширное и не всегда обоснованное их использование может приводить к возникновению и распространению резистентности через пищевую цепь от сельскохозяйственных животных к человеку. При этом отрасль молочного скотоводства терпит значительные экономические убытки в связи с выбраковкой молока. Данная проблема является актуальной для общественного здравоохранения, животноводства и безопасности пищевых продуктов. В связи с этим разработка новых фармацевтических композиций, включающих в своем составе наличие веществ групп антибиотиков, является актуальной задачей.

Цель работы – обосновать антимикробное действие бактериоцина низина совместно с глицеролатами кремния и бора в схемах лечения мастита у высокопродуктивных коров. Для этого были поставлены следующие задачи: провести анализ данных по использованию низина в медицинской и ветеринарной практике; изучить имеющуюся информацию по применению глицеролатов кремния и бора в терапии различных заболеваний человека и животных; определить антимикробное действие изучаемых компонентов; оценить возможность применения низина совместно с глицеролатами кремния и бора в терапии мастита у коров.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены на базе отдела репродуктивной биологии и неонатологии ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-76-00009 «Сдерживание антибиотикорезистентности и повышение качества молока путем создания фармакологических соединений для лечения мастита у высокопродуктивных коров». Поиск и отбор оригинальных публикаций проводились в январе–феврале 2023 г. на электронных ресурсах Scopus, Web of Science, PubMed, MedLine, CyberLeninka, eLibrary. Параметрами для отбора литературы были вы-

браны следующие слова и словосочетания: бактериоцины, низин, глицеролаты кремния, глицеролаты бора, медицина, ветеринария, мастит, высокопродуктивные коровы. В зарубежных базах данных были использованы такие поисковые запросы, как: «bacteriocin - nizin» (MeSH Terms) OR «bacteriocin» (All Fields) AND «nizin» (All Fields) AND «silicon glycerolates» (MeSH Terms) OR «silicon glycerolates» (All Fields) AND «boron glycerolates» (MeSH Terms) OR «boron glycerolates» (All Fields) AND «bacteriocins in clinical practice» (All Fields) AND «bacteriocins in veterinary medicine» (All Fields) AND «bacteriocins for the treatment of cattle» (All Fields) AND «nizin with mastitis in cows» (All Fields), «silicon and boron glycerolates in clinical practice» (All Fields), «silicon and boron glycerolates in veterinary medicine» (All Fields) AND «silicon and boron glycerolates in mastitis in cows».

Ретроспекция отобранных источников составила временной отрезок с 1978 по 2022 г., общий объем просмотренных ссылок – 540. Обобщение данных для литературного обзора проводили с использованием элементов заявления PRISMA [5].

Систематический обзор включал в себя следующие последовательные этапы:

1) поиск и отбор оригинальных публикаций об экспериментальных и клинических исследованиях биомедицинских аспектов применения бактериоцинов и глицеролатов;

2) оценка методологического качества отобранных экспериментальных и клинических исследований;

3) анализ доказательств экспериментальной и клинической эффективности.

Использовались следующие критерии отбора публикаций:

– исследуемое вмешательство – применение бактериоцинов и глицеролатов в биомедицинской области;

– вмешательство сравнения – применение лекарственных средств, включающих выбранные компоненты (низин, глицеролаты кремния и бора) в медицинской и ветеринарной практике путем исследований *in vitro*, *ex vivo*, *in vivo* и клинического испытания;

– исследуемая популяция – человек, экспериментальные животные, продуктивные и непродуктивные животные.

Для оценки методологического качества (риска систематических ошибок) отобранных РКИ использовалась методика, в основе которой лежат критерии руководства Кокрановского сотрудничества. Оценка методологического ка-

чества включенных исследований проводилась для всех отобранных исследований.

Рассматривались следующие критерии экспериментальной и клинической эффективности применения бактериоцинов и глицеролатов в биомедицинской области:

- определение наиболее широко применяемых бактериоцинов и глицеролатов в биомедицинских исследованиях;

- определенный механизм действия изучаемых компонентов;

- наличие антимикробной активности бактериоцина низина и кремнийборсодержащих глицеролатов против возбудителей заболеваний человека и животных;

- частота достижения эффективности применения изучаемых компонентов в исследованиях *in vitro*, *ex vivo*, *in vivo* и клиническом испытании;

- исход в качестве установления фармакологического эффекта изучаемых компонентов.

Сомнительность относительно включения публикации в систематический обзор разрешали путем ранжирования по следующим параметрам: ретроспекция, цитируемость, immediacy index, g-index, impact factor.

В результате систематического поиска были найдены 540 ссылок на публикации по исследованиям в области биомедицинского применения бактериоцинов и глицеролатов, из которых исключены 465 ссылок на публикации. Таким образом, для настоящего систематического обзора нами было отобрано 65 публикаций, которые соответствовали нашим критериям отбора.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Бактериоцины представляют собой белковые или пептидные токсины, вырабатываемые микроорганизмами для подавления роста сходных или близкородственных штаммов бактерий. Имеют разнообразное химическое строение, в результате чего способны образовывать в мембране поры или каналы, приводящие к нарушению проницаемости клеточной мембраны, воздействуя на важные функции чувствительных клеток [6]. В последние годы бактериоцины широко применяются в клинической практике в качестве антимикробных веществ, обладая рядом преимуществ в сравнении с антибиотиками, которые способны подавлять метаболизм и процессы синтеза у бактерий. Действие бактериоцинов основано на повреждении структур бактериальной клетки,

что приводит к гибели клетки-мишени и способствует снижению развития микробной резистентности [7]. Бактериоцины эффективны в наномолярном диапазоне, что характеризует их высокую биологическую активность, при этом они относятся к малотоксичным веществам (за исключением цитолизина), так как в отличие от антибиотиков полностью расщепляются в организме человека и животных [8, 9]. Все это делает использование данных пептидов в некоторых случаях более предпочтительным, чем антибиотиков [10].

В настоящее время существует большое количество видов бактериоцинов, отличительной особенностью которых являются физико-химические свойства, аминокислотный состав, способ выведения, а также антимикробный спектр действия, на основании чего выделяют четыре класса (табл. 1).

Наиболее изученным и широко применяемым является бактериоцин низин [25]. Он применяется в пищевой промышленности более чем в 50 странах в качестве естественного биоконсерванта для различных видов пищевых продуктов [26]. Использование низина в пищевых продуктах на территории Таможенного союза должно соответствовать ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств». Применение низина одобрено также Food and Drug Administration (Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов) для опытного использования в клинической практике благодаря высокому уровню активности против бактерий и низкой токсичности [9]. За последние два десятилетия применение низина было распространено на биомедицинские области [27].

Низин относится к первому классу бактериоцинов, является полипептидным лантибиотиком, образуемым микроорганизмом *Streptococcus lactis*. На химическом уровне представляет собой низкомолекулярный катионный, гидрофобный пептид, образованный из немодифицированного пренизина, содержащего 57 аминокислот, из которых последние 34 остатка составляют основной пептид низин, в состав которого входят остатки аминокислот (Lis, His, Asp, Ser, Pro, Gli, Ala, Val, Met, Ile, Leu) и редко встречающиеся серосодержащие кислоты (лантионин, b-метиллантионин, дегидроаланин, дегидробутирин) [28].

Таблица 1

Характеристики наиболее изученных бактериоцинов, синтезируемых грамотрицательными и грамположительными бактериями

Characteristics of the most studied bacteriocins synthesized by gram-negative and gram-positive bacteria

Класс бактериоцина	Бактериоцин	Продуцирующий штамм микроорганизма	Активность в отношении бактерий
1	2	3	4
Класс I	Цитолизин	<i>Enterococcus faecalis</i>	<i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Pediococcus</i> sp., <i>Enterococcus</i> sp. и <i>Lactococcus</i> sp. [11]
	Низин А	<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i>	<i>Enterococcus</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Lactococcus</i> , <i>Leuconostoc</i> , <i>Listeria</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Pediococcus</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Bacillus</i> [12, 13]
	Низин Z	<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i>	<i>Enterococcus</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Lactococcus</i> , <i>Leuconostoc</i> , <i>Listeria</i> , <i>Clostridium</i> [13]
	Низин U	<i>Lactococcus uberis</i>	<i>Streptococcus pyogenes</i> , <i>S. uberis</i> , <i>S. agalactiae</i> , <i>S. dysgalactiae</i> , <i>S. mitis</i> , <i>Staphylococcus simulans</i> , <i>S. cohnii</i> , <i>Lactococcus lactis</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> [14]
	Мутацин В-Ny266	<i>Streptococcus mutans</i>	Грамположительные бактерии [15]
	Саливарицин А	<i>Streptococcus salivarius</i>	Грамположительные бактерии [16]
Класс II Подкласс Па	Лактококцин MMFII	<i>Lactococcus lactis</i>	<i>Enterococcus</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Lactococcus</i> , <i>Listeria</i> [16]
	Мезентерицин Y105	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	<i>Lactobacillus</i> , <i>Leuconostoc</i> , <i>Pediococcus</i> , <i>Listeria</i> [16]
	Уберицин А	<i>Streptococcus uberis</i>	<i>Listeria</i> sp., <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>E. hirae</i> , <i>Streptococcus bovis</i> , <i>Lactococcus lactis</i> [17]
	Лейкоцин А	<i>Leuconostoc gelidum</i>	<i>Lactobacillus</i> sp., <i>Listeria monocytogenes</i> [16]
	Курвацин А	<i>Lactobacillus curvatus</i>	<i>Lactobacillus</i> , <i>Listeria</i> , <i>Enterococcus faecalis</i> [16]
	Педиоцин РА -1	<i>Pediococcus acidilactici</i>	<i>Pediococcus</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Leuconostoc</i> , <i>Listeria</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Enterococcus</i> , <i>Staphylococcus</i> [16]
	Энтероцин А	<i>Enterococcus</i> spp.	<i>Listeria monocytogenes</i> , <i>L. innocua</i> , <i>Lactobacillus</i> spp., <i>Pediococcus</i> sp., <i>Enterococcus</i> sp., <i>Carnobacterium</i> sp., <i>Leuconostoc</i> sp., <i>Lactococcus</i> sp., <i>Clostridium</i> sp. [11]
	Мундтицин QU2	<i>Enterococcus mundtii</i>	<i>Enterococcus</i> sp., <i>Lactobacillus</i> sp., <i>Leuconostoc</i> sp., <i>Pediococcus</i> sp., <i>Listeria</i> sp. [11]

1	2	3	4
Класс II Подкласс IIb	Лактобин А	<i>Lactobacillus amylovorus</i>	<i>Lactobacillus</i> sp. [18]
	Лактоцин-Ф	<i>Lactobacillus johnsonii</i>	<i>Lactobacillus</i> sp., <i>Enterococcus faecalis</i> [18]
	Лактоцин-705	<i>Lactobacillus paracasei</i>	<i>Lactobacillus</i> , <i>Listeria</i> , <i>Streptococcus</i> [19]
	Плантаицин F	<i>Lactobacillus plantarum</i>	<i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i> [13]
	Энтероцин С	<i>E. faecalis</i> C901	<i>Actinomyces</i> spp., <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>E. faecium</i> , <i>Lactococcus</i> sp., <i>Lactobacillus paracasei</i> , <i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Propionibacterium acnes</i> , <i>Staphylococcus caprae</i> , <i>Streptococcus anginosus</i> , <i>S. intermedius</i> [11]
	Бактериоцин AS-48	<i>E. faecalis</i> AS-48, <i>E. faecalis</i> (энтероцины 4, EFS2, 21, 7C5), <i>E. faecium</i> (7C5)	<i>Escherichia</i> sp., <i>Corynebacterium</i> sp., <i>Staphylococcus</i> sp. [11]
Класс II Подкласс IIc	Карнобактериоцин А	<i>Carnobacterium piscicola</i>	<i>Carnobacterium</i> sp., <i>Enterococcus</i> sp., <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Clostridium perfringens</i> [16]
	Субтилизин А	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Streptococcus pyogenes</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Porphyromonas gingivalis</i> , <i>Enterobacter aerogenes</i> , <i>Shigella sonnei</i> [13, 20]
	Уберолизин А	<i>Streptococcus uberis</i>	<i>Enterococcus faecalis</i> , <i>E. hirae</i> , <i>Lactococcus lactis</i> , <i>Micrococcus luteus</i> , <i>Listeria</i> sp., <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Streptococcus</i> [21]
	Ацидоцин В	<i>Lactobacillus acidophilus</i> M46	<i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Lactobacillus</i> sp., <i>Clostridium sporogenes</i> [22]
	Энтероцин В	<i>E. faecium</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>E. durans</i>	<i>Listeria monocytogenes</i> , <i>L. innocua</i> , <i>Lactobacillus</i> sp., <i>L. fermentum</i> , <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Leuconostoc</i> sp., <i>Lactococcus</i> sp., <i>Clostridium sporogenes</i> , <i>C. tyrobutyricum</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>S. carnosus</i> , <i>Carnobacterium</i> sp. [11]
	Энтероцин Р	<i>E. faecium</i> L50	<i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , <i>C. botulinum</i> [11]
	Бактериоцин 31	<i>Enterococcus faecalis</i> pY1717	<i>E. hirae</i> , <i>E. faecium</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> [11]
Класс III	Гельветицин J	<i>Lactobacillus helveticus</i>	<i>Lactobacillus bulgaricus</i> , <i>Lactococcus lactis</i> [23]
	Энтеролизин А	<i>Enterococcus faecalis</i> LMG 2333	<i>Enterococcus</i> sp., <i>Pediococcus</i> , <i>Lactococcus</i> , <i>Lactobacillus</i> [11]
Класс IV	Гликоцин F	<i>Lactobacillus plantarum</i>	<i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> [24]

Имеются сообщения о нескольких природных вариациях низина, которые идентифицированы из ряда таксономически различных микроорганизмов. На сегодняшний день, судя по опубликованным результатам, существует восемь естественных вариантов низина для последующего анализа (A, Z, F, Q, H, U, U2, P). В целях улучшения фармакокинетических свойств для различных биологических применений созданы биоинженерные формы низина (A S29A, A S29D, A S29E, A S29G, A K22T, A N20P, A M21V, A K22S, Z N20K, Z M21K), [29].

Низин А является более известным и широко применяемым лантибиотиком [30]. Это мощный антимикробный пептид, содержащий лантионин, синтезируемый рибосомами после ковалентной химической модификации. Химическая структура низина А соответствует следующему составу: $C_{143}H_{230}N_{42}O_{37}S_7$ [31].

Бактериоцин низин А относится к полипептидам, имеющим трехмерную (третичную) структуру, которая характеризуется взаимодействиями между R-группами аминокислот белка. Взаимодействия R-групп включают водородные связи, ионные связи, диполь-дипольные взаимодействия и весь спектр нековалентных связей [32].

При этом основное действие низина основано на взаимодействии с отрицательно заряженными мембранами, которые содержат анионные липиды, что позволяет активировать деструктивные процессы в клетках [6]. Гибель бактериальной клетки под действием низина происходит путем взаимодействия с молекулой-предшественником в синтезе клеточной стенки бактерий (липид II), в результате чего происходит возникновение пор в мембране и ингибирование биосинтеза клеточной стенки [33, 34]. При этом часть С-конца молекулы деполаризует цитоплазматическую мембрану и связывается с анионными липидами, что ведет к мгновенной остановке синтеза компонентов клеточной стенки и всех биосинтетических процессов в клетке, после чего N-конец опускается в липид мембраны и пептид принимает параллельное положение на мембранной поверхности, после чего пептид имеет возможность расположиться по всей длине поры [6, 30, 33].

Низин в качестве антимикробного агента более эффективен в отношении грамположительных бактерий, так как они имеют более высокие концентрации анионного липида в цитоплазматической мембране. Установлено, что бактериоцин низин способствует снижению роста *Staphylococcus aureus*, *MRSA*, *Streptococcus pneumoniae*, *Enterococcus spp.* и

Clostridium difficile [35]. Однако в настоящее время имеются клинические данные, подтверждающие активность низина и в отношении грамотрицательных патогенов, например таких, как *Escherichia coli* [36].

Некоторые инфекционные заболевания человека и животных, особенно инфекции, вызванные возбудителями, способными образовывать биопленки, трудно поддаются лечению [37]. Традиционные методы лечения, основанные на применении антибактериальных препаратов, привели к появлению лекарственной устойчивости. Благодаря свойствам низина ученые начали изучать его применение при инфекционных заболеваниях, включая лекарственно устойчивые инфекции, в качестве альтернативы антибактериальным препаратам [13]. Имеются данные об антимикробном действии низина против возбудителей мастита, респираторных заболеваний, желудочно-кишечных и кожных инфекций. Зарубежные исследования показали, что низин может оказывать синергетическое действие [38]. На основании изученной литературы определено, что естественные варианты низина способны проявлять антимикробную активность при инфекциях желудка и кишечника. Так, установлено, что низин А восстанавливает целостность эпителия кишечника и может применяться при лечении инфекций желудочно-кишечного тракта [39]. Для потенциальной доставки лекарств в толстую кишку низин (Nisaplin) был таблетирован совместно с пектином [40]. Другими исследованиями установлено, что низин обладает антимикробным действием против *Clostridium difficile*, что делает перспективным использование при диарее и воспалении толстой кишки. В опытном исследовании у инфицированных мышей установлено, что Низин Z способен уменьшать колонизацию кишечника устойчивыми к ванкомицину энтерококками. В опытных исследованиях на лабораторных животных с инфекциями слизистых оболочек и кровотока он также показал способность снижать колонизацию микроорганизмов.

Имеются данные, что низин F может оказывать стабилизирующее действие на бактериальную популяцию желудочно-кишечного тракта мышей [40]. Определено, что антибактериальная активность низина против *Pseudomonas aeruginosa* может быть увеличена нитратом серебра с использованием метода зеленого химического синтеза.

Проанализированы опытные исследования, по использованию низина при респираторных инфекциях. Интраназальное применение низина F способствовало снижению количе-

ства *Staphylococcus aureus* в дыхательных путях крыс с ослабленным иммунитетом [38]. Применение низина в низкой концентрации в составе препарата Nisaplin способствовало сокращению смертности среди мышей, инфицированных *Streptococcus pneumoniae* [41]. Имеются данные о влиянии низина на рост и клеточную стенку *Staphylococcus aureus* в исследованиях *in vitro* на лабораторных мышах, что способствовало повышению уровня противовоспалительных цитокинов в сыворотке крови у животных с эндометритом.

Раневые повязки из нановолокна, содержащие низин А, способны уменьшать количество колоний *Staphylococcus aureus* при инфекциях кожи и мягких тканей [42]. Определено, что антимикробные пептиды проявляют цитотоксическое действие на раковые клетки. Имеются исследования устанавливающие, что очищенные бактериоцины, включая низин, обладают ингибирующими свойствами в отношении линий неопластических клеток, что подтверждается проведенным экспериментом на моделях ксенотрансплантата мыши. Низин А способен останавливать дальнейший рост плоскоклеточного рака головы и шеи у мышей, вызывая преимущественный апоптоз, остановку клеточного цикла и уменьшая пролиферацию клеток в опухоли. Комбинация низина А и доксорубицина в исследованиях на мышах способна снижать тяжесть опухоли при канцерогенезе кожи [43].

Низин широко используют в рамках научных исследований в области стоматологии. Так, изучены антимикробные свойства низина в отношении патогенных бактерий полости рта, связанных с кариесом и заболеваниями пародонта. Скармливание с пищей препарата Nisaplin способствовало сокращению количества бактерий рода *Streptococcus* в зубном налете обезьян [44]. Имеются сведения об эффективном применении жидкости для орошения рта на основе низина, которая способствовала предотвращению образования зубного налета и воспаления десен у собак. С целью уменьшения использования антибиотиков проведены исследования по применению антимикробного пептида низина при заболевании пародонта у собак, вызванного развитием микробных биопленок *Enterococcus spp.* в периодонте. Низин А уничтожил колонизацию *Enterococcus faecalis* при проведении экспериментов *ex vivo* на корневых каналах зубов человека [45]. Низин Z проявляет синергическую активность к клеткам десен полости рта, обеспечивая большую устойчивость к *Candida albicans*, а также способен подавлять рост кариесогенных бактерий, в том числе *Streptococcus mutans*. Низин

А в сочетании с полилизинном и фторидом натрия способен проявлять синергизм в ингибировании планктонных и биопленочных форм *Streptococcus mutans*. Имеются исследования по изучению потенциала низина для устранения потери костной массы в пародонте, воспалительной реакции и изменений в составе микробиома полости рта в экспериментах на полимикробной мышинной модели заболевания пародонта.

Грамположительная бактерия *Staphylococcus aureus*, известная способностью образовывать устойчивые биопленки и вызывать антибиотикорезистентность, является наиболее частым возбудителем инфекций диабетической стопы, которые являются осложнением сахарного диабета у людей. Имеются исследования, где оценивался потенциал биогеля на основе низина А для повышения эффективности применения антибиотиков и антисептиков против клинических изолятов *Staphylococcus aureus*, выделенных при инфекциях диабетической стопы. Установлено также, что лечение с помощью низина было эффективным при стафилококковом мастите у женщин [46].

В зарубежной литературе имеются сообщения об эффективном использовании низина совместно с антибактериальным препаратом цефазолин, что позволяет обеспечить расширенный спектр активности против возбудителей мастита у животных и снизить дозу антибиотика для лечения [47]. Эффективной стратегией борьбы с маститом у коров путем предотвращения новых внутримаммарных инфекций является обработка сосков молочной железы после доения, имеются данные о применении вещества на основе бактериоцина низина для снижения бактериальной нагрузки путем нанесения на кожу сосков смоченных в нем тампонов [48]. Целью этого исследования было оценить сокращение бактериальных популяций за счет применения смесей для сосков на основе бактериоцина.

Отмечено эффективное применение низина в сочетании с полипептидным антибиотиком Полимиксин В [25], а в Белоруссии зарегистрирован препарат Мастонизин Форте для применения в терапии мастита у коров и Бионизин Форте для использования в терапии воспалительных заболеваний в молочной железе и матке коров. Имеются данные о эффективном использовании низина при лечении мастита у лактирующих молочных коров с помощью внутримаммарного введения [49]. Проанализированы данные послеоперационного лечения после удаления рогов у крупного рогатого скота с использованием бактериальной наноцеллю-

лозы совместно с низином, что способствует снижению осложнений в виде проникновения патогенной и условно-патогенной микрофлоры в раны [50]. Существуют данные по эффективному применению низина в птицеводстве, он оказывал положительное воздействие на показатели роста цыплят-бройлеров, а также микробиоту кишечника, активность кишечных

микроорганизмов и гистоморфологию [51]. Исследованиями подтверждено, что низин А играет важную роль в лечении инфекций дыхательных путей, таких как пневмония и плеврит у свиней и птицы, вызванные *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus suis*, *Actinobacillus suis*, *Actinobacillus pleuropneumoniae* и *Haemophilus parasuis* [52] (табл. 2).

Таблица 2

Обзор данных по применению бактериоцина низина варианта А
Review of data on the use of bacteriocin nisin variant A

Функция	Вид исследования
Восстанавливает целостность эпителия кишечника	Опытные исследования на мышах с инфекциями желудочно-кишечного тракта [39]
Уменьшает колонизацию <i>Streptococcus pneumoniae</i>	Исследования направленные на сокращение смертности среди мышей [41]
Снижает колонии <i>Staphylococcus aureus</i> при инфекциях кожи и мягких тканей	Опытные исследования на лабораторных животных [42]
Обладает ингибирующими свойствами в отношении линий неопластических клеток	Эксперимент на моделях ксенотрансплантата мыши [43]
Вызывает преимущественный апоптоз, остановку клеточного цикла и уменьшает пролиферацию клеток в опухоли	Опытные исследования на мышах с плоскоклеточным раком головы и шеи [43]
Способен снижать степень тяжести опухоли	Исследования на мышах с канцерогенезом кожи [53]
Способствует сокращению бактерий рода <i>Streptococcus</i> в зубном налете	Опытные исследования на обезьянах [44]
Предотвращает образование зубного налета, снижение воспаления десен	Исследования на собаках [54]
Снижает колонизацию <i>Enterococcus faecalis</i>	Эксперименты <i>ex vivo</i> на корневых каналах зубов человека [45]
Повышает эффективность применения антибиотиков и антисептиков против клинических изолятов <i>Staphylococcus aureus</i>	Применение биогеля при инфекциях диабетической стопы у человека [55]
Эффективен в отношении <i>Staphylococcus aureus</i>	Опытные исследования на женщинах со стафилококковым маститом [46]
Обеспечивает активность против широкого спектра возбудителей мастита, способен снизить дозу антибиотика для лечения	Исследования на высокопродуктивных коровах [47]
Способен снижать колонизацию возбудителей эндометрита	Исследования на высокопродуктивных коровах с воспалительными процессами в матке [56]
Снижает осложнения в виде проникновения микрофлоры в раны	Лечение и профилактика осложнений после удаления рогов у крупного рогатого скота [50]
Вызывает активность кишечных микроорганизмов. Положительно воздействует на показатели роста	Исследования в птицеводстве на цыплятах-бройлерах [51]
Снижает колонизацию <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Staphylococcus suis</i> , <i>Actinobacillus suis</i> , <i>Actinobacillus pleuropneumoniae</i> и <i>Haemophilus parasuis</i>	Лечение заболеваний дыхательных путей у домашней птицы и свиней [52]

По некоторым литературным источникам установлено, что применение бактериоцинов

любого класса может привести к развитию резистентности [57]. Так, было описано не-

сколько механизмов устойчивости бактерий к лантибиотикам. Имеются исследования, которые показали, что оптимальным вариантом использования бактериоцинов при лечении инфекционных заболеваний может стать объединение их с другими веществами, проявляющими антимикробную активность. Например, имеются сведения о применении комбинации «бактериоцин-антибиотик», что позволило усилить антимикробный эффект и уменьшить вероятность развития резистентности как к бактериоцину, так и к антибиотику [24].

Как известно, эффективность лекарственного средства определяет в том числе использование оптимальной основы, обладающей свойствами проводника лекарственных веществ. В Институте органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН разработаны и запатентованы нанокомпозитные глицеролаты, на молекулярном уровне содержащие в своем составе атомы кремния и бора, обладающие выраженной ранозаживляющей, регенерирующей, антибактериальной и фунгицидной активностью. Имеются данные, что разработанные глицеролаты проявляют бактерицидную активность в отношении тест-культур *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Trichophyton rubrum* и *Trichophyton violaceum*. Установлено, что разработанный кремнийборсодержащий глицерогидрогель (согласно ГОСТ 12.1.007-76) относится к малотоксичным веществам (IV класс опасности) [58].

В организме человека и животных кремний в качестве химического соединения способствует удалению токсичных веществ из клеток, усиливает защитные функции тканей, способствует снижению процессов воспаления в клетках, что обуславливает выбор его в качестве пенетранта. Известна способность кремния концентрироваться в определенных органах, а также стимулировать рост соединительной и эпителиальной ткани. Бор является условно-эссенциальным микроэлементом, его соединения обладают противовоспалительным действием, нормализуют процессы обмена веществ в клетках и тканях. Соединения обладают высокой транскутанной проводимостью лекарственных средств, что позволяет снизить дозу активных действующих веществ при сохранении высокой эффективности действия, а также оказывают репаративное и регенерирующее действие, что дает возможность использовать различные терапевтические схемы.

Имеются исследования отечественных ученых по эффективному применению глицеролатов в лечении различных заболеваний человека. Так, в медицинской практике разработаны ректаль-

ные суппозитории, обладающие обезболивающим действием, в составе которых в качестве трансмукозного проводника применяют глицеролаты кремния [59]. Описано эффективное применение лекарственного средства с антиревматическим действием для местного лечения суставов, в качестве основы которого используют кремнийорганический глицерогидрогель [60]. Есть сообщения об использовании глицеролатов кремния в стоматологии в составе пасты для индивидуальной гигиены полости рта. Разработан также стоматологический гель для реминерализации твердых тканей зубов, включающий в состав в качестве гидрофильной основы глицеролаты кремния [61]. Полученный из раствора глицеролатов кремния кремнийхитозансодержащий глицерогидрогель применяют в качестве гидрофильной мукоадгезивной основы для местного лечения красного плоского лишая слизистой оболочки полости рта. Разработан ряд фармакологических композиций для местного лечения воспалительных стоматологических заболеваний, включающих в состав совместное применение кремнийсодержащего глицерогидрогеля и активных иммуностропных веществ. В дерматологии используется кремнийорганический глицерогидрогель с дополнительным содержанием цинка и бора в качестве топического средства для лечения осложненных дерматозов [62]. Разработано средство топического лечения акне, которое содержит основу в виде кремнийцинкорганического глицерогидрогеля [63].

Имеются данные о местном применении биологически активных гидрогелей и полиолатов биогенных элементов (кремний, цинк, бор и др.) для повышения фармакологической активности действующих веществ в различных схемах лечения заболеваний молочной железы, органов репродуктивной системы и копыт крупного рогатого скота. Получены сообщения об эффективном применении противомикробной композиции на основе водорастворимого кремнийорганического производного глицерина в комплексных схемах лечения коров с послеродовыми эндометритами [64]. Проведено клиническое изучение фармацевтической композиции на основе глицеролата кремния и экстракта календулы в терапии коров при задержании последа. Для лечения эндометритов у коров разработан комплексный препарат, одними из компонентов которого являются диметилглицеролаты и глицеролаты кремния [65]. Имеются данные, что применение для обработки вымени после доения лекарственной композиции, в состав которой входят глицеролаты кремния, цинка и бора, снижает уровень рас-

пространения субклинической формы мастита и улучшает состояние эпидермиса в области верхушки соска [66]. Разработана мазь на основе кремнийорганического глицерогидрогеля для лечения гиперкератоза сосков вымени у коров. Запатентовано комплексное средство для лечения воспалений и травм молочной железы у коров, одним из компонентов которого является глицерогидрогель [67]. Разработан способ

профилактики мастита у высокопродуктивных коров путем применения фармакологической композиции, состоящей из антимикробного препарата и диметилглицеролатов кремния, глицеролатов [68]. Кремнийорганический глицерогидрогель входит в состав мази для лечения гнойно-некротических поражений копытцев у крупного рогатого скота [69] (табл. 3).

Таблица 3

Анализ данных по применению препаратов, включающих в свой состав глицеролаты
Analysis of data on the use of drugs containing glycerolates

Вещество	Область применения, функция
Глицеролаты кремния	Медицина. В виде ректальных суппозиториях. Обезболивающее действие [59]
Кремнийорганический глицерогидрогель	Медицина. В качестве местного лечения суставов. Антиревматическое действие [60]
Глицеролаты кремния	Стоматология. В составе пасты для индивидуальной гигиены полости рта, для снижения колонизации микроорганизмов [70]
Глицеролаты кремния	Стоматология. Реминерализация твердых тканей зубов в составе стоматологического геля [61]
Кремнийхитозансодержащий глицерогидрогель	Стоматология. Местное лечение красного плоского лишая слизистой оболочки полости рта [71]
Кремнийсодержащий глицерогидрогель	Стоматология. Местное лечение воспалительных стоматологических заболеваний [72]
Кремнийорганический глицерогидрогель+цинк+бор	Дерматология. Лечение осложненных дерматозов [62]
Кремнийцинкорганический глицерогидрогель	Дерматология. Лечение акне [63]
Кремнийорганический глицерин	Ветеринария. Лечение послеродовых эндометритов у коров [64]
Диметилглицеролаты + глицеролаты кремния	Ветеринария. Лечение хронического эндометрита у коров [65]
Диметилглицеролаты кремния + глицеролаты кремния	Ветеринария. Профилактика мастита у коров [66]
Кремнийорганический глицерогидрогель	Ветеринария. Лечение гнойно-некротических поражений копытцев у крупного рогатого скота [69]
Глицерогидрогель	Ветеринария. Лечение воспалений и травм молочной железы у коров [67]
Кремнийорганический глицерогидрогель	Ветеринария. Лечение гиперкератоза сосков вымени у коров [73]
Глицеролаты кремния, цинка и бора	Ветеринария. Лечение субклинической формы мастита, улучшение состояния эпидермиса в области верхушки соска у коров [74]
Глицеролат кремния + экстракт календулы	Ветеринария. Лечение задержания последа у коров [75]

Изученные глицеролаты применяются в схемах лечения и профилактики различных заболеваний человека и животных, являются отечественной разработкой, что решает во-

прос их доступности, а также позволяет использовать импортозамещение и расширить уже имеющийся в стране ассортимент веществ, обладающих антимикробным потенциалом.

ВЫВОДЫ

1. Изученные данные показывают эффективность опытного и практического применения бактериоцина низина. Анализ зарубежной научной литературы показал, что наиболее широко в биомедицинской области применяется бактериоцин низин варианта А за счет доступности получения, наличия антимикробных свойств и малотоксичности для человека и животных.

2. Глицеролаты кремния и бора обладают ранозаживляющей, регенерирующей, фунгицидной активностью. Широко применяются в стоматологии и дерматологии, а также в ветеринарии при лечении воспалительных заболеваний репродуктивного тракта, молочной железы и копыт крупного рогатого скота, вызванных патогенной и условно-патогенной микрофлорой.

3. Низин А активен в отношении *Staphylococcus aureus*, MRSA, *Streptococcus pneumoniae*, *Enterococcus* spp. и *Clostridium difficile*, *Escherichia coli*. Глицеролаты кремния и бора проявляют антимикробное действие в отно-

шении *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Trichophyton rubrum* и *Trichophyton violaceum*.

4. Бактериоцин низин обладает высоким потенциалом для использования в качестве замены антибиотиков для решения проблемы развития антибиотикорезистентности. Снижение возможности развития резистентности к бактериоцину низину при лечении инфекционных заболеваний может быть достигнуто объединением его с другими веществами, проявляющими антимикробную активность, например глицеролатами. На основании наличия антимикробной активности против широкого спектра микроорганизмов, применения в терапии различных заболеваний человека и животных, в том числе мастита, установленной безопасности выбранные компоненты (бактериоцин низин, кремнийборсодержащие глицеролаты) теоретически открывают перспективу для использования их в схемах лечения мастита у высокопродуктивных коров в качестве альтернативы антибиотикам.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-76-00009, <https://rscf.ru/project/22-76-00009/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Климов Н.Т. Практическое руководство по борьбе с маститами коров: учеб. пособие. – Воронеж. 2012. – 87 с. – <https://elibrary.ru/item.asp?id=2578028>.
2. Мирончик С.В., Бабаянц Н.В. Современные тенденции в лечении коров, больных маститом // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – 2021. – № 24–2. – С. 277–285.
3. *Advances in therapeutic and managemental approaches of bovine mastitis: a comprehensive review* / K. Sharun, K. Dhama, R. Tiwari [et al.] // *Vet Q.* – 2021. Dec, Vol. 41 (1). – P. 107–136. – DOI: 10.1080/01652176.2021.1882713.
4. Ряпосова М.В., Сивкова У.В., Исакова М.Н. Проблема заболеваемости высокопродуктивных коров маститом // БИО. – 2020. – № 4 (235). – С. 22–27. – <https://elibrary.ru/item.asp?id=43313598>.
5. *PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation* / A.C. Tricco, E. Lillie, W. Zarin [et al.] // *Ann Intern Med.* – 2018. – Vol. 169 (7). – P. 467–473. – DOI:10.7326/M18-0850.
6. *Application of Nanoliposomes Containing Nisin and Crocin in Milk* / M. Yousefi, S.M. Jafari, H. Ahangari, A. Ehsani // *Adv Pharm Bull.* – 2023. – Jan. – Vol. 13 (1). – P. 134–142. – DOI: 10.34172/apb.2023.014.
7. *Перспективы использования бактериоцинов нормальной микробиоты в антибактериальной терапии (обзор)* / М.И. Заславская, Т.В. Махрова, Н.А. Александрова, Н.И. Игнатова, И.В. Белова, А.Г. Точилина, И.В. Соловьева // *Современные технологии в медицине.* – 2019. – Т. 11, N 3. – С. 136–145.
8. *Aranha C.C., Gupta S.M., Reddy K.V. Assessment of cervicovaginal cytokine levels following exposure to microbicide nisin gel in rabbits* // *Cytokine.* – 2008. – Vol. 43, N 1. – P. 63–70. – DOI: 10.1016/j.cyto.2008.04.005.

9. *Multiple potential strategies for the application nisin and derivatives* / F. Khan, P. Singh, A.S. Joshi [et al.] // *Crit Rev Microbiol.* – 2022. – Aug, Vol. 23. – P. 1–30. – DOI: 10.1080/1040841X.2022.2112650.
10. *Comparison of antibacterial effects between antimicrobial peptide and bacteriocins isolated from Lactobacillus plantarum on three common pathogenic bacteria* / L. Ming, Q. Zhang, L. Yang, J.A. Huang // *Int J Clin Exp Med.* – 2015. – Vol. 8, N 4. – P. 5806–5811.
11. Ермоленко Е.И. Бактериоцины энтерококков: проблемы и перспективы использования // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2009. – № 11 (3). – С. 78–93.
12. Сульtimoва Т.Д., Захаров Е.В. Бактериоцины молочнокислых бактерий // Вестник ВСГУТУ. – 2016. – № 2. – С. 41–47.
13. *Novel biotechnological applications of bacteriocins: a review* / E.M. Balciunas, F.A.C. Martinez, S.D. Todorov [et al.] // *Food Control.* – 2013. – N 32. – P. 134–142.
14. *Molecular and genetic characterization of a novel nisin variant produced by Streptococcus uberis* / R.E. Wirawan, N.A. Klesse, R.W. Jack, J.R. Tagg // *Appl Environ Microbiol.* – 2006. – Feb, Vol. 72 (2). – P. 1148–1156. – DOI: 10.1128/AEM.72.2.1148-1156.2006.
15. *Mutacin H-29B is identical to mutacin II (J-T8)* / N. Guillaume, H. Morency, G. LaPointe, M.C. Lavoie // *BMC Microbiology.* – 2006. – Vol. 6. – P. 36. – DOI:10.1186/1471-2180-6-36.
16. Стоянова Л.Г., Устюгова Е.А., Нетрусов А.И. Антимикробные метаболиты молочнокислых бактерий: разнообразие и свойства (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. – 2012. – Т. 48, № 3. – С. 259–275.
17. *Ubericin A, a class IIa bacteriocin produced by Streptococcus uberis* / C.K. Heng Nicholas, A. Burtenshaw Grace, W. Jack Ralph, R. Tagg John // *Appl Environ Microbiol.* – 2007. – Dec, Vol. 73 (23). – P. 7763–7766. – DOI: 10.1128/AEM.01818-07.
18. Рыбальченко О.В., Орлова О.Г., Бондаренко В.М. Антимикробные пептиды лактобацилл // Микробиология. – 2013. – № 4. – С. 89–100.
19. *Castellano P., Raya R., Vignolo G. Bacteriocin from Lactobacillus casei CRL705* // *Int J Food Microbiol.* – 2003. – Aug 15, Vol. 85 (1–2). – P. 35–43. – DOI: 10.1016/s0168-1605(02)00479-8.
20. *Bacteriocin-antimicrobial synergy: a medical and food perspective* / H. Mathur, F. Des, M.C. Rea [et al.] // *Front Microbiol.* – 2017. – N 8. – P. 1205. – DOI: 10.3389.
21. *Uberolysin: a novel cyclic bacteriocin produced by Streptococcus uberis* / Wirawan Ruth E., Swanson Kara M., Kleffmann Torsten [et al.] // *Microbiology (Reading).* – 2007. – May, Vol. 153 (Pt 5). – P. 1619–1630. – DOI: 10.1099/mic.0.2006/005967-0.
22. *Solution Structure of Acidocin B, a Circular Bacteriocin Produced by Lactobacillus acidophilus M46* / J.Z. Acedo, M.J. van Belkum, C.T. Lohans, R.T. McKay // *Environmental Microbiology.* – 2015. – Febr., Vol. 81(8). – DOI:10.1128/AEM.04265-14.
23. Рябинин Г.В., Бараненко Д.А. Альтернативные антимикробные агенты, полученные селективной сорбцией из культуры Lactobacillus helveticus D75 // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2020. – № 1. – С. 81–90.
24. *Optimized genetic tools allow the biosynthesis of glycocin F analogues designed to test the roles of gcc cluster genes in bacteriocin production* / B.J. Drummond, T.S. Loo, M.L. Patchett, G.E. Norris // *J Bacteriol.* – 2021. – Mar 8, Vol. 203 (7). – e00529-20. – DOI: 10.1128/JB.00529-20.
25. Мироненко И.М. Поговорим об антибиотиках... Ч. 2: Низин. Проблемная пищевая добавка E234* // Молочная промышленность. – 2016. – № 7. – С. 33–36. – <https://elibrary.ru/item.asp?id=26182619>.
26. *Nisin biotechnological production and application: a review* / L.J. De Arauz, A.F. Jozala, P.G. Mazzola, T.C. Veshone // *Trends in Food Science & Technology.* – 2009. – Vol. 20, N 3–4. – P. 146–154. – DOI: 10.1016 / J.TIFS.2009.01.056.
27. *Biomedical applications of nisin* / J.M. Shin, J.W. Gwak, P. Kamarajan [et al.] // *J Appl Microbiol.* – 2016. – Vol. 120, N 6. – P. 1449–1465. – DOI: 10.1111/jam.13033.
28. *Minah C.J., Morero R.D. Inhibition of enterocin CRL35 antibiotic activity by mono- and divalent ions* // *Lett. Appl. Microbiol.* – 2003. – Vol. 37, N 5. – P. 374–379. – DOI: 10.1046/j.1472-765x.2003.01411.x.

29. *Bioengineering of the model lantibiotic nisin* / D. Field, P.D. Cotter, R.P. Ross, C. Hill // *Bioengineered*. – 2015. – N 6. – P. 187–192. – DOI: 10.1080/21655979.2015.1049781.
30. *Breukink E., De Kruijff B.* Lipid II as a target for antibiotics // *Nat Rev Drug Discov*. – 2006. – N 5. – P. 321–323. – DOI: 10.1038/nrd2004.
31. *Râpă M., Stoica P., Tănaseb E. E., Grosu E., Vlada G.* Preparation of medical devices with antimicrobial properties. *Journal of optoelectronics and advanced materials*. 2013 Vol. 15, N. 7-8, p. 807 – 816.
32. *Feher J.* Quantitative Human Physiology (Second Edition) // Academic Press-2017-pub.2-p.130-141.
33. *Dissection and modulation of the four distinct activities of nisin by mutagenesis of rings A and B and by C-terminal truncation* / R. Rink, J. Wierenga, A. Kuipers [et al.] // *Appl Environ Microbiol*. – 2007. – N 73. – P. 5809–5816. – DOI: 10.1128/AEM.01104-07.
34. *Cotter Paul D., Ross R. Paul, Colin H.* Bacteriocins – a viable alternative to antibiotics? // *Nat Rev Micro*. – 2013. – Vol. 11. – P. 95–105.
35. *Effect of sub-lethal doses of nisin on Staphylococcus aureus toxin production and biofilm formation* / A. Shivaee, S. Rajabi, H.E. Farahani, A.A. Fooladi // *Toxicon*. – 2021. – Vol. 197, N 15. – P. 1–5. – DOI: 10.1016/j.toxicon.2021.03.018.
36. *Kim Y.C., Tarr A.W., Penfold C.N.* Colicin import into E. coli cells: a model system for insights into the import mechanisms of bacteriocins // *Biochim Biophys Acta*. – 2014. – Vol. 1843, N 8. – P. 1717–1731. – DOI: 10.1016/j.bbamer.2014.04.010.
37. *Fauci A.S., Morens D.M.* The perpetual challenge of infectious diseases // *N Engl J Med*. – 2012. – No. 366. – P. 454–461. – DOI: 10.1056/NEJMr1108296.
38. *Synergistic antibacterial activity and mechanism of action of nisin/carvacrol combination against Staphylococcus aureus and their application in the infecting pasteurized milk* / Q. Li, S. Yu, J. Han [et al.] // *Food Chem*. – 2022. – Jun 30, Vol. 380. – P. 132009. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.132009.
39. *Maher S., McClean S.* Investigation of the cytotoxicity of eukaryotic and prokaryotic antimicrobial peptides in intestinal epithelial cells in vitro // *Biochem Pharmacol*. – 2006. – N 71. – P. 1289–1298. – DOI: 10.1016/j.bcp.2006.01.012.
40. *Colonic delivery of compression coated nisin tablets using pectin/HPMC polymer mixture* / T. Ugurlu, M. Turkoglu, U.S. Gurer, B.G. Akarsu // *Eur J Pharm Biopharm*. – 2007. – N 67. – P. 202–210. – DOI: 10.1016/j.ejpb.2007.01.016.
41. *Activity of nisin against Streptococcus pneumoniae, in vitro, and in a mouse infection model* / B.P. Goldstein, J. Wei, K. Greenberg, R. Novick // *J Antimicrob Chemother*. – 1998. – Vol. 42-p. 277–278.
42. *Heunis T.D., Smith C., Dicks L.M.T.* Evaluation of a nisin-eluting nanofiber scaffold to treat Staphylococcus aureus-induced skin infections in mice // *Antimicrob Agents Chemother*. – 2013. – N 57. – P. 3928–3935. – DOI: 10.1128/AAC.00622-13.
43. *Nisin ZP, a bacteriocin and food preservative, inhibits head and neck cancer tumorigenesis and prolongs survival* / P. Kamarajan, T. Hayami, B. Matte [et al.] // *PLoS ONE*. – 2015. – N 10. – e0131008. – DOI: 10.1371/journal.pone.0131008.
44. *Johnson I.H., Hayday H., Colman G.* The effects of nisin on the microbial flora of the dental plaque of monkeys (*Macaca fascicularis*) // *J Appl Bacteriol*. – 1978. – N 45. – P. 99–109. – DOI: 10.1111/j.1365-2672.1978.tb04203.x.
45. *Turner S.R., Love R.M., Lyons K.M.* An in vitro investigation of the antibacterial effect of nisin in root canals and canal wall radicular dentine // *Int Endod J*. – 2004. – N 37. – P. 664–671. – DOI: 10.1111/j.1365-2591.2004.00846.x.
46. *The bacteriocin nisin, an effective agent for the treatment of staphylococcal mastitis during lactation* / L. Fernández, S. Delgado, H. Herrero, A. Maldonado, J.M. Rodríguez // *J Hum Lact*. – 2011. – N 24. – P. 311–316. – DOI: 10.1177/0890334408317435.
47. *In vitro synergistic activities of cefazolin and nisin A against mastitis pathogens* / K. Kitazaki, S. Koga, K. Nagatoshi [et al.] // *J Vet Med Sci*. – 2017. – Sep 12, Vol. 79 (9). – P. 1472–1479. – DOI: 10.1292/jvms.17-0180. Epub 2017 Jul 29.

48. *Efficacy* of bacteriocin-based formula for reducing staphylococci, streptococci, and total bacterial counts on teat skin of dairy cows / S. Bennett, I. Fliss, L. Ben Said [et al.] // J Dairy Sci. – 2022. – May, Vol. 105 (5). – P. 4498–4507. – DOI: 10.3168/jds.2021-21381.
49. *Efficacy* of nisin in treatment of clinical mastitis in lactating dairy cows / L.T. Cao, J.Q. Wu, S.H. Hu, Y. Mo // J Dairy Sci. – 2007. – N 90. – P. 3980–3985. – DOI: 10.3168/jds.2007-0153.
50. *Evaluation* of Bacterial Nanocellulose Membranes Loaded or Not with Nisin as a Complementary Treatment in Surgical Dehorning Wounds in Bovine / F.A.F. Custódio, L. M de Castro, E. Unterkircher [et al.] // Pharmaceutics. – 2021. – May 11, Vol. 13 (5). – P. 688. – DOI: 10.3390/pharmaceutics13050688.
51. *Nisin* as a Novel Feed Additive: The Effects on Gut Microbial Modulation and Activity, Histological Parameters, and Growth Performance of Broiler Chickens / B. Kierończyk, M. Rawski, Z. Mikołajczak [et al.] // Animals. – 2020. – Vol. 10 (1). – P. 101.
52. *Antimicrobial* potential of bacteriocins in poultry and swine production / A. Ben Lagha, B. Haas, M. Gottschalk [et al.] // Vet Res. – 2017. – Vol. 48. – P. 22. – <https://doi.org/10.1186/s13567-017-0425-6>.
53. *Effect* of nissan and doxorubicin on MBA-induced skin carcinogenesis - a possible adjunct therapy / S. Preset, S. Bharati, A. Panjeta [et al.] // Tumour Biol. – 2015. – Vol. 36. – P. 1–8.
54. *The effect* of amouthrinse based on nisin, a bacteriocin, on developing plaque and gingivitis in beagle dogs / T.H. Howell, J.P. Fiorellini, P. Blackburn [et al.] // J Clin Periodontol. – 1993. – Vol. 20, 335–339.
55. *Diabetic* foot infections: Application of a nisin-biogel to complement the activity of conventional antibiotics and antiseptics against Staphylococcus aureus / R. Santos, D. Ruza, E. Cunha [et al.] // PLoS ONE. – 2019. July 24. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220000>.
56. *Bovine* Endometrial Epithelial Cells Scale Their Pro-inflammatory Response In vitro to Pathogenic Trueperella pyogenes Isolated from the Bovine Uterus in a Strain-Specific Manner / M. Ibrahim, S. Peter, K. Wagener [et al.] // Sec. Clinical Microbiology. – 2017. – Vol. 7. – <https://doi.org/10.3389/fcimb.2017.00264>.
57. *Lantibiotic* resistance / L.A. Draper, P.D. Cotter, C. Hill, R.P. Ross // Microbiol Mol Biol Rev. – 2015. – Vol. 79, N 2. – P. 171–191. – DOI: 10.1128/MMBR.00051-14.
58. *Structural* features and antimicrobial activity of hydrogels obtained by the sol–gel method from silicon, zinc, and boron glycerolates / T.G. Khonina, N.V. Kungurov, N.V. Zilberberg [et al.] // Journal of Sol-Gel Science and Technology. – 2020. – Vol. 95, N 3. – P. 682–692.
59. *Обезболивающие* ректальные суппозитории, содержащие нестероидное противовоспалительное средство в сочетании с трициклическим антидепрессантом и трансмукозным проводником / И.Г. Зырянова, Л.П. Ларионов, Е.В. Шадрин [и др.] // Химико-фармацевтический журнал. – 2018. – Т. 52, № 9. – С. 37–42.
60. *Патент* 2707278 С1, Российская Федерация. Средство для лечения воспалительных заболеваний суставов: № 2019117545: заявл. 06.06.2019. / Бухарин О.В., Перунова Н.Б., Иванова Е.В. [и др.].
61. *Патент* 2677231 С1, Российская Федерация. Стоматологический гель для реминерализации твердых тканей зубов и способ реминерализации твердых тканей зубов: № 2017135845: заявл. 10.10.2017 / Мандра Ю.В., Легких А.В., Богданова Е.А. [и др.].
62. *Перспективы* разработки инновационного наружного средства терапии дерматозов / Н.В. Кунгуров, О.Н. Чупахин, Н.В. Зильберберг [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 12. – С. 14–19.
63. *Патент* 2764574 С1, Российская Федерация. Средство для лечения акне: № 2020134067: заявл. 16.10.2020 / Бухарин О.В., Челпаченко О.Е., Данилова Е.И. [и др.].
64. *Лечебная* эффективность нового средства на основе глицеролата кремния при послеродовом эндометрите у коров / А.Ф. Колчина, М.И. Барашкин, А.Б. Ильева [и др.] // Аграрный вестник Урала. – 2011. – № 3 (82). – С. 32–34. – <https://elibrary.ru/item.asp?id=17839046>
65. *Патент* 2589902 С1, Российская Федерация. Препарат и способ его применения при эндометритах у коров: № 2015116823: заявл. 30.04.2015. / Чарушин В.Н., Ряпосова М.В., Хонина Т.Г. [и др.].

66. *Оценка эффективности кремнийцинкборорганических соединений для профилактики заболеваний вымени у молочных коров* / А.С. Баркова, М.М. Сибиряков, Е.И. Шурманова [и др.] // От инерции к развитию: научно-инновационное обеспечение АПК: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. – 2020. – С. 32–34. – <https://elibrary.ru/item.asp?id=43358376>.
67. *Патент 2356556*, Российская Федерация. Средство для лечения воспалений и травм молочной железы у коров: № 2007143285/15: заявл. 21.11.2007 / Елесин А.В., Хонина Т.Г., Колчина А.Ф. [и др.].
68. *Патент 2668535 С2*, Российская Федерация. Способ профилактики маститов у высокопродуктивных коров: № 2016137923: заявл. 22.09.2016 / Чарушин В.Н., Ряпосова М.В., Тарасенко М.Н. [и др.].
69. *Патент 2449798*, Российская Федерация. Способ лечения гнойно-некротических поражений копыт у крупного рогатого скота: № 2010153526/15: заявл. 27.12.2010 / Елесин А.В., Забродин Е.А., Хонина Т.Г., [и др.].
70. *Патент 2 675 257 С1* Лечебно-профилактическая зубная паста: №2018100451: заявл. 01.09.2018 / Мандра Ю.В., Ронь Г.И., Котикова А.Ю. [и др.].
71. *Патент 2 583 945 С1*, Российская Федерация. Средство для местного лечения красного плоского лишая слизистой оболочки полости рта и способ лечения красного плоского лишая слизистой оболочки полости рта: № 2015117979/15: заявл. 13.05.2015 / Жовтяк П.Б., Григорьев С.С., Хонина Т.Г. [и др.].
72. *Светлакова Е.Н., Мандра Ю.В., Стати Т.Н.* Эффективность применения новой фармакологической композиции на основе кремнийорганического глицерогидрогеля после лазерной обработки пародонтальных карманов у пациентов с пародонтитом // Проблемы стоматологии. – 2012. – № 2. – С. 30–32.
73. *Патент 2 458 696 С2*, Российская Федерация. Средство для лечения гиперкератоза сосков вымени у коров и способ его применения: № 2010144282/15: заявл. 28.10. 2010 / Колчина А. Ф., Баркова А.С., Елесин А.В. [и др.].
74. *Оценка эффективности лечения при гиперкератозе сосков вымени* / А.С. Томских, М.И. Барашкин, А.С. Барскова, Е.И. Шурманова // Аграрный вестник Урала. – 2016. – № 08 (150). – С. 58–63. – <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27191844>.
75. *Применение нового средства на основе глицеролата кремния для лечения коров при задержании последа* / А.Ф. Колчина, А.Н. Стуков, П.М. Серебрицкий, Т.Г. Хонина // Аграрный вестник Урала. – 2011. – №12–2 (92). – С. 26–28.

REFERENCES

1. Klimov N.T., *Prakticheskoe rukovodstvo po bor'be s mastitami korov* (A practical guide to combating bovine mastitis), Voronezh, 2012, 87 p.
2. Mironchik S.V. Babayants N.V., *Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva*, 2021, No. 24–2, pp. 277–285. (In Russ.)
3. Sharun K., Dhama K., Tiwari R. [et al.], *Advances in therapeutic and managemental approaches of bovine mastitis: a comprehensive review*, Vet Q, 2021, No. 41 (1), pp. 107–136.
4. Ryaposova M.V., Sivkova U.V., Isakova M.N., BIO, 2020, No. 4 (235), pp. 22–27. (In Russ.)
5. Tricco A.C., Lillie E., Zarin W. [et al.], *PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation*, Ann Intern Med, 2018, No. 169 (7), pp. 467–473.
6. Yousefi M., Jafari S.M., Ahangari H., Ehsani A., *Application of Nanoliposomes Containing Nisin and Crocin in Milk*, Adv Pharm Bull, 2023, No. 13 (1), pp. 134–142.
7. Zaslavskaya M.I., Makhrova T.V., Aleksandrova N.A., Ignatova N.I., Belova I.V., Tochilina A.G., Solov'eva I.V., *Sovremennye tekhnologii v meditsine*, 2019, Vol. 11, No. 3, pp. 136–145. (In Russ.)
8. Aranha C.C., Gupta S.M., Reddy K.V., *Assessment of cervicovaginal cytokine levels following exposure to microbicide nisin gel in rabbits*, Cytokine, 2008, Vol. 43, No. 1, pp. 63–70.
9. Khan F., Singh P., Joshi A.S., Tabassum N., Jeong G.J., Bamunuarachchi N.I., Mijakovic I., Kim Y.M., *Multiple potential strategies for the application nisin and derivatives*, Crit Rev Microbiol., 2022, No. 23 (1), pp. 30.

10. Ming L., Zhang Q., Yang L., Huang J.A., Comparison of antibacterial effects between antimicrobial peptide and bacteriocins isolated from *Lactobacillus plantarum* on three common pathogenic bacteria, *Int J Clin Exp Med.*, 2015, Vol. 8, No. 4, pp. 5806–5811.
11. Ermolenko E.I., *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universitete*, 2009, No. 11 (3), pp. 78–93. (In Russ.)
12. Sul'timova T.D., Zakharov E.V., *Vestnik VSGUTU*, 2016, No. 2, pp. 41–47. (In Russ.)
13. Balciunas E.M., Martinez F.A.C., Todorov S.D., de Melo Franco, Converti B.D.G., A. and de Souza Oliveira R.P. Novel biotechnological applications of bacteriocins: a review, *Food Control*, 2013, No. 32, pp. 134–142.
14. Wirawan R.E., Klesse N.A., Jack R.W., Tagg J.R., Molecular and genetic characterization of a novel nisin variant produced by *Streptococcus uberis*, *Appl Environ Microbiol*, 2006, No. 72 (2), pp. 1148–1156.
15. Guillaume N., Morency H., LaPointe G., Lavoie M.C., Mutacin H-29B is identical to mutacin II (J-T8), *BMC Microbiology*, 2006, No. 6, pp. 36.
16. Stoyanova L.G., Ustyugova E.A., Netrusov A.I., *Prikladnaya bioximiya i mikrobiologiya*, 2012, Vol. 48, No. 3, pp. 259–275. (In Russ.)
17. Heng Nicholas C.K., Burtenshaw Grace A., Jack Ralph W., Tagg John R., Ubericin A, a class IIa bacteriocin produced by *Streptococcus uberis*, *Appl Environ Microbiol.*, 2007, No. 73 (23), pp. 7763–7766.
18. Rybalchenko O.V., Orlova O.G., Bondarenko V.M., *Mikrobiologiya*, 2013, No. 4, pp. 89–100. (In Russ.)
19. Castellano P., Raya R., Vignolo G., Bacteriocin from *Lactobacillus casei* CRL705, *Int J Food Microbiol.*, 2003, No. 85 (1–2), pp. 35–43.
20. Mathur H., Des F., Rea M.C., Cotter P.D., Hill C., Ross R.P., Bacteriocin-antimicrobial synergy: a medical and food perspective, *Front Microbiol.*, 2017, No. 8, pp. 1205.
21. Wirawan Ruth E., Swanson Kara M., Kleffmann Torsten, Jack Ralph W., Tagg John R., Uberolysin: a novel cyclic bacteriocin produced by *Streptococcus uberis*, *Microbiology (Reading)*, 2007, 153 (Pt 5) pp. 1619–1630.
22. Acedo J.Z., Belkum M. J van, Lohans C. T., McKay R.T., Solution Structure of Acidocin B, a Circular Bacteriocin Produced by *Lactobacillus acidophilus* M46, *Environmental Microbiology*, 2015, Vol. 81 (8).
23. Ryabinin G.V., Baranenko D.A., *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO, Seriya: Processyi apparaty pishhevyx proizvodst*, No. 1 2020, pp. 81–90. (In Russ.)
24. Drummond B.J., Loo T.S., Patchett M.L., Norris G.E., Optimized genetic tools allow the biosynthesis of glycocin F analogues designed to test the roles of gcc cluster genes in bacteriocin production, *J Bacteriol*, 2021, Mar 8, Vol. 203 (7), pp. e00529-20.
25. Mironenko I.M., *Molochnaya promyshlennost'*, 2016, No. 7, pp. 33–36. (In Russ.)
26. De Arauz L.J., Jozala A.F., Mazzola P.G., Veshone T.C., Nisin biotechnological production and application: a review, *Trends in Food Science & Technology*, 2009, Vol. 20, No. 3–4, pp. 146–154.
27. Shin J.M., Gwak J.W., Kamarajan P., Fenno J.C., Rickard A.H., Kapila Y.L., Biomedical applications of nisin, *J Appl Microbiol*, 2016, Vol. 120, No. 6, pp. 1449–1465.
28. Minah C.J., Morero R.D., Inhibition of enterocin CRL35 antibiotic activity by mono- and divalent ions, *Lett. Appl. Microbiol.*, 2003, Vol. 37, No. 5, pp. 374–379.
29. Field D., Cotter P. D., Ross R.P., Hill C., Bioengineering of the model lantibiotic nisin, *Bioengineered*, 2015, No. 6, pp. 187–192.
30. Breukink E., De Kruijff B., Lipid II as a target for antibiotics, *Nat Rev Drug Discov*, 2006, No. 5, pp. 321–323.
31. Răpăa M., Stoica P., Tănaseb E.E., Grosua E., Vlada G., Preparation of medical devices with antimicrobial properties, *Journal of optoelectronics and advanced materials*, Vol. 15, No. 7–8, 2013, pp. 807–816.
32. Feher J., *Quantitative Human Physiology (Second Edition)*, Academic Press, 2017, Pub. 2, pp. 130–141.

33. Rink R., Wierenga J., Kuipers A., Kluskens L.D., Driessen A.J., Kuipers O.P., Moll G.N., Dissection and modulation of the four distinct activities of nisin by mutagenesis of rings A and B and by C-terminal truncation, *Appl Environ Microbiol.*, 2007, No. 73, pp. 5809–5816.
34. Cotter Paul D., Ross R. Paul, Colin Hill., Bacteriocins – a viable alternative to antibiotics? *Nat Rev Micro.*, 2013, No. 11, pp. 95–105.
35. Shivaee A., Rajabi S., Farahani H.E., Fooladi A.A., Effect of sub-lethal doses of nisin on *Staphylococcus aureus* toxin production and biofilm formation, *Toxicon*, 2021, Vol. 197, No. 15, pp. 1–5.
36. Kim Y.C., Tarr A.W., Penfold C.N., Colicin import into *E. coli* cells: a model system for insights into the import mechanisms of bacteriocins, *Biochim Biophys Acta*, 2014, Vol. 1843, No. 8, pp. 1717–1731.
37. Fauci A.S., Morens D.M., The perpetual challenge of infectious diseases, *N Engl J Med.*, 2012, No. 366, pp. 454–461.
38. Li Q., Yu S., Han J., Wu J., You L., Shi X., Wang S., Synergistic antibacterial activity and mechanism of action of nisin/carvacrol combination against *Staphylococcus aureus* and their application in the infecting pasteurized milk, *Food Chem.*, 2022, Jun 30, Vol. 380, pp. 132009.
39. Maher S., McClean S., Investigation of the cytotoxicity of eukaryotic and prokaryotic antimicrobial peptides in intestinal epithelial cells in vitro, *Biochem Pharmacol*, 2006, No. 71, pp. 1289–1298.
40. Ugurlu T., Turkoglu M., Gurer U.S., Akarsu B.G., Colonic delivery of compression coated nisin tablets using pectin/HPMC polymer mixture, *Eur J Pharm Biopharm*, 2007, No. 67, pp. 202–210.
41. Goldstein B.P., Wei J., Greenberg K., Novick R., Activity of nisin against *Streptococcus pneumoniae*, in vitro, and in a mouse infection model., *J Antimicrob Chemother*, 1998, No. 42, pp. 277–278.
42. Heunis T.D., Smith C., Dicks L.M.T., Evaluation of a nisin-eluting nanofiber scaffold to treat *Staphylococcus aureus*-induced skin infections in mice, *Antimicrob Agents Chemother*, 2013, No. 57, pp. 3928–3935.
43. Kamarajan P., Hayami T., Matte B., Liu Y., Danciu T., Ramamoorthy A., Worden F., Kapila S., Nisin ZP, a bacteriocin and food preservative, inhibits head and neck cancer tumorigenesis and prolongs survival, *PLoS ONE*, 2015, No. 10, e0131008.
44. Johnson I.H., Hayday H., Colman G., The effects of nisin on the microbial flora of the dental plaque of monkeys (*Macaca fascicularis*), *J Appl Bacteriol.*, 1978, No. 45, pp. 99–109.
45. Turner S.R., Love R.M., Lyons K.M., An in vitro investigation of the antibacterial effect of nisin in root canals and canal wall radicular dentine, *Int Endod J.*, 2004, No. 37, pp. 664–671.
46. Fernández L., Delgado S., Herrero H., Maldonado A., Rodríguez J.M., The bacteriocin nisin, an effective agent for the treatment of staphylococcal mastitis during lactation, *J Hum Lact.*, 2011, No. 24, pp. 311–316.
47. Kitazaki K., Koga S., Nagatoshi K. [et al.], In vitro synergistic activities of cefazolin and nisin A against mastitis pathogens, *J Vet Med Sci.*, 2017, Sep 12, Vol. 79 (9), pp. 1472–1479.
48. Bennett S., Fliss I., Ben Said L., Malouin F., Lacasse P., Efficacy of bacteriocin-based formula for reducing staphylococci, streptococci, and total bacterial counts on teat skin of dairy cows, *J Dairy Sci.*, 2022, No. 105 (5), pp. 4498–4507.
49. Cao L.T., Wu J.Q., Hu S.H., Mo Y., Efficacy of nisin in treatment of clinical mastitis in lactating dairy cows, *J Dairy Sci.*, 2007, No. 90, pp. 3980–3985.
50. Custódio F.A F., M de Castro L., Unterkircher E. [et al.], Evaluation of Bacterial Nanocellulose Membranes Loaded or Not with Nisin as a Complementary Treatment in Surgical Dehorning Wounds in Bovine, *Pharmaceutics*, 2021, May 11, Vol. 13 (5), pp. 688.
51. Kierończyk B., Rawski M., Mikołajczak Z., Świątkiewicz S., Józefiak D., Nisin as a Novel Feed Additive: The Effects on Gut Microbial Modulation and Activity, Histological Parameters, and Growth Performance of Broiler Chickens, *Animals*, 2020, No. 10 (1), pp. 101.
52. Ben Lagha A., Haas B., Gottschalk M., Antimicrobial potential of bacteriocins in poultry and swine production, *Vet Res*, 2017, No. 48, pp. 22.
53. Preset S., Bharati S., Panjeta A., Tewari R., Ritchie P., Effect of nissan and doxorubicin on MBA-induced skin carcinogenesis – a possible adjunct therapy, *Tumour Biol*, 2015, No. 36, pp. 1–8.

54. Howell T.H., Fiorellini J.P., Blackburn P. [et al.], The effect of amouthrinse based on nisin, a bacteriocin, on developing plaque and gingivitis in beagle dogs, *J Clin Periodontol*, 1993, No. 20, pp. 335–339.
55. Santos R., Ruza D., Cunha E., Tavares L., Oliveira M., Diabetic foot infections: Application of a nisin-biogel to complement the activity of conventional antibiotics and antiseptics against *Staphylococcus aureus*, *PLoS ONE*, 2019, No. 14 (7), pp. e0220000.
56. Ibrahim M., Peter S., Wagener K. [et al.], Bovine Endometrial Epithelial Cells Scale Their Pro-inflammatory Response In vitro to Pathogenic *Trueperella pyogenes* Isolated from the Bovine Uterus in a Strain-Specific Manner, *Clinical Microbiology*, 2017, Vol. 7.
57. Draper L.A., Cotter P.D., Hill C., Ross R.P., Lantibiotic resistance, *Microbiol Mol Biol Rev*, 2015, Vol. 79, No. 2, pp. 171–191.
58. Khonina T.G., Kungurov N.V., Zilberberg N.V. [et al.], Structural features and antimicrobial activity of hydrogels obtained by the sol–gel method from silicon, zinc, and boron glycerolates, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 2020, Vol. 95, No. 3, pp. 682–692.
59. Zyryanova I.G., Larionov L.P., Shadrina E.V., Ivanenko M.V., Khonina T.G., *Khimiko-farmatsevticheskii zhurnal*, 2018, Vol. 52, No. 9, pp. 37–42. (In Russ.)
60. Patent 2707278 C1, Rossiiskaya Federatsiya. Sredstvo dlya lecheniya vospalitel'nykh zaboлевaniy sustavov: No. 2019117545: zayavl. 06.06.2019., Bukharin O.V., Perunova N.B., Ivanova E.V. [i dr.]. (In Russ.)
61. Patent 2677231 C1, Rossiiskaya Federatsiya. Stomatologicheskii gel' dlya remineralizatsii tverdykh tkanei zubov i sposob remineralizatsii tverdykh tkanei zubov: No. 2017135845: zayavl. 10.10.2017. Mandra Yu.V., Legkikh A.V., Bogdanova E.A. [i dr.]. (In Russ.)
62. Kungurov N.V., Chupakhin O.N., Zil'berberg N.V., Khonina T.G., Kokhan M.M., Polishchuk A.I., Evstigneeva N.P., *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2016, No. 12, pp. 14–19. (In Russ.)
63. Patent 2764574 C1, Rossiiskaya Federatsiya. Sredstvo dlya lecheniya akne. No. 2020134067: zayavl. 16.10.2020., Bukharin O.V., Chelpachenko O.E., Danilova E.I. [i dr.]. (In Russ.)
64. Kolchina A.F., Barashkin M.I., Ilyayeva A.B., Stukov A.N., Khonina T.G., *Agrarnyi vestnik Urala*, 2011, No. 3 (82), pp. 32–34, <https://elibrary.ru/item.asp?id=17839046>. (In Russ.)
65. Patent 2589902 C1, Rossiiskaya Federatsiya. Preparat i sposob ego primeneniya pri endometritakh u korov. No. 2015116823: zayavl. 30.04.2015., Charushin V.N., Ryaposova M.V., Khonina T.G. [i dr.]. (In Russ.)
66. Barkova A.S., Sibiryakov M.M., Shurmanova E.I., Khonina T.G., Mil'shtein I.M., *Ot inertsii k razvitiyu: nauchno-innovatsionnoe obespechenie APK (From inertia to development: scientific and innovative support for the agro-industrial complex)*, *Proceedings of the Conference Title*, 2020, pp. 32–34, <https://elibrary.ru/item.asp?id=43358376>. (In Russ.)
67. Patent 2356556, Rossiiskaya Federatsiya. Sredstvo dlya lecheniya vospaleniya i travm molochnoi zhelezy u korov. No. 2007143285/15: zayavl. 21.11.2007, Elesin A.V., Khonina T.G., Kolchina A.F. [i dr.]. (In Russ.)
68. Patent 2668535 C2, Rossiiskaya Federatsiya. Sposob profilaktiki mastitov u vysokoproduktivnykh korov, No. 2016137923: zayavl. 22.09.2016, Charushin V.N., Ryaposova M.V., Tarasenko M.N. [i dr.]. (In Russ.)
69. Patent 2449798, Rossiiskaya Federatsiya. Sposob lecheniya gnoino-nekroticheskikh porazhenii kopytets u krupnogo rogatogo skota, No. 2010153526/15: zayavl. 27.12.2010, Elesin A.V., Zabrodin E.A., Khonina T.G. [i dr.]. (In Russ.)
70. Patent 2 675 257 C1, Lechebno-profilakticheskaya zubnaya pasta, No. 2018100451: zayavl. 01.09.2018, Mandra Yu.V., Ron' G.I., Kotikova A.Yu. [i dr.]. (In Russ.)
71. Patent 2 583 945 C1, Rossiyskaya Federatsiya. Sredstvo dlya mestnogo lecheniya krasnogo ploskogo lishaya slizistoy obolochki polosti rta i sposob lecheniya krasnogo ploskogo lishaya slizistoy obolochki polosti rta, No. 2015117979/15: zayavl. 13.05.2015, Zhovtyak P.B., Grigor'ev S.S., Khonina T.G. [i dr.]. (In Russ.)
72. Svetlakova E.N., Mandra Yu.V., Stati T.N., *Problemy stomatologii*, 2012, No. 2, pp. 30–32. (In Russ.)

73. Patent 2 458 696 C2, Rossiyskaya Federatsiya. Sredstvo dlya lecheniya giperkeratoza soskov vy-meni u korov i sposob ego primeneniya, No. 2010144282/15: zayavl. 28.10. 2010, Kolchina A. F., Barkova A.S., Elesin A.V. [i dr.]. (In Russ.)
74. Tomskikh A.S., Barashkin M.I., Barskova A.S., Shurmanova E.I., Agrarnyy vestnik Urala, 2016, No. 08 (150), pp. 58–63. (In Russ.)
75. Kolchina A.F., Stukov A.N., Serebritskiy P.M., Khonina T.G., Agrarnyy vestnik Urala, 2011, No. 12–2 (92), pp. 26–28. (In Russ.)

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ БАКТЕРИЙ РЕЦЕПТОРАМИ ВРОЖДЕННОГО ИММУНИТЕТА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

^{1,2}А.Е. Калашников, кандидат биологических наук

³Е.Р. Гостева, доктор сельскохозяйственных наук

¹Н.Ф. Щеголков, кандидат сельскохозяйственных наук

³В.Л. Ялуга, кандидат сельскохозяйственных наук

¹Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела Минсельхоза России, Москва, Россия

²ФИЦ комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаврова УРО РАН, Архангельск, Россия

³Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Саратов, Россия

E-mail: ekagosteva@yandex.ru

Ключевые слова: крупный рогатый скот, рецепторы, производственные среды, возбудители, Toll-подобные рецепторы, факторы, иммунитет врожденный, нарушения.

Резюме. В ходе исследований определен перечень молекул, вовлеченных в механизмы врожденного иммунитета крупного рогатого скота и распознавания бактериальных патогенов. Современный перечень молекулярных рецепторов расширился и теперь иммуносенсоры включают: рецепторы TLR, а также недавно определенные NOD-подобные рецепторы (NLR): NOD, NALP, NAIP и IPAF. Молекулы TLR предназначены для передачи сигнала связывания лиганда на поверхности клетки или эндосомы и активации в цитозоле специфичных молекул бактериального происхождения, таких как пептидогликаны, РНК, токсины и флагеллины. Полученные данные о молекулярной структуре рецепторов TLR и NLR указывают на их противовоспалительную роль, опосредованную сигналами через κВ-фактор ядерной транскрипции и активацией в инфламасоме каспазы-1. Показано, что роль в регуляции воспаления иммуносенсоров не-клеточного и внутриклеточного восприятия бактерий синергетична. Мутации в TLR- и NOD-рецепторах связаны с аутоиммунными воспалительными синдромами. В данном обзоре рассмотрены способы организма распознавать внутриклеточные патогены, описана проблема их мимикрии от иммунной системы животных, молекулярные механизмы таких взаимодействий. Рассмотрены также варианты молекулярных взаимодействий рецепторов врожденного иммунитета с пептидогликанами, бактериальной ДНК и токсинами, компартментами клеточных стенок, а также рецепторами бактериального флагеллина. Целью данного исследования был анализ современного понимания генетической и молекулярной структуры иммунного ответа на бактериальные факторы окружающей среды, а также анализ механизмов и особенностей реагирования организма животных.

GENETIC MECHANISMS OF BACTERIA RECOGNITION BY CATTLE INNATE IMMUNITY RECEPTORS

^{1,2}A.E. Kalashnikov, PhD in Biological Sciences

³E.R. Gosteva, Doctor of Agricultural Sciences

¹N.F. Shchegolkov, PhD in Agricultural Sciences

³V.L. Yaluga, PhD in Agricultural Sciences

¹All-Russian Research Institute of Breeding, Ministry of Agriculture of Russia, Moscow, Russia

²N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

³Federal Agrarian Research Center of the South-East, Saratov, Russia

E-mail: ekagosteva@yandex.ru

Keywords: cattle, receptors, production environments, pathogens, Toll-like receptors, factors, innate immunity, disorders.

Abstract. The research identified a list of molecules involved in the mechanisms of innate immunity in cattle and the recognition of bacterial pathogens. The current list of molecular receptors has expanded to include TLR

receptors and the recently defined NOD-like receptors (NLRs): NOD, NALP, NAIP, and IPAF. TLR molecules are designed to transmit a ligand-binding signal on the cell surface or endosome and activate specific molecules of bacterial origin in the cytosol, such as peptidoglycans, RNA, toxins and flagellins. The obtained data on the molecular structure of TLR and NLR receptors indicate their anti-inflammatory role, mediated by signals through nuclear transcription factor κ B and activation of caspase-1 in the inflammasome. It has been shown that the role of immunosensors of extracellular and intracellular perception of bacteria in regulating inflammation is synergistic. Mutations in TLR and NOD receptors are associated with autoimmune inflammatory syndromes. This review examines the body's ways of recognising intracellular pathogens, describes the problem of their mimicry from the animal immune system, and the molecular mechanisms of such interactions. Variants of molecular interactions of innate immune receptors with peptidoglycans, bacterial DNA and toxins, cell wall compartments, and bacterial flagellin receptors are also considered. This study aimed to analyse the current understanding of the genetic and molecular structure of the immune response to bacterial environmental factors and the mechanisms and characteristics of the reaction of the animal body.

Врожденный иммунитет крупного рогатого скота устроен сложным образом. Он отвечает за генетически обусловленную с рождения способность животных распознавать возбудителей и вступать с ними в борьбу. Производственная окружающая среда: площадки выгула и отдыха скота, доильные залы, места кормления и обслуживания скота, покрытия, обводненные участки, пастбища, — является комплексом из неблагоприятных факторов и способствует контакту животных с возбудителями. Для обеспечения благополучной ветеринарной и технологической обстановки на производстве существуют рекомендации ассоциаций коммерческих пород мирового уровня, в которых минимизируют риск инфицирования животных.

Основными рисками являются болезни молочной железы (вымени), нарушение рационов кормления животных, алгоритмов доения, заготовки кормов, ветеринарного обслуживания, а также травмы конечностей, кожных покровов, глаз, легочные инфекции, заболевания пищеварительного тракта, дисбактериоз кишечника, возникающие вследствие нарушения технологического регламента и влияния неблагоприятных факторов производственной среды. Основными группами риска являются молодняк, коровы в отелный и транзитный периоды, животные на сухостое, а также на выпасах на обводненных участках и загрязненных перегонах.

Врожденный иммунитет важен для выживания животных в неблагоприятных условиях производственной среды, в борьбе с микробными инфекциями. Элементы адаптивного иммунитета (макрофаги, дендритные клетки, нейтрофилы), а также эффекторы врожденного иммунитета выполняют следующие функции: обнаружение патогенов, реализацию защиты и обучение адаптивной иммунной системы.

Парадигма распознавания врожденным иммунитетом патогенов у млекопитающих предложена более 10 лет назад на основании

генетических экспериментов на дрозофилах [1]: тогда белкам-рецепторам Toll была дана ключевая роль — быть регулятором передачи сигналов иммунитета.

Толл-подобные рецепторы (TLR, toll-like receptors) воспринимают широкий спектр микробных лигандов, таких как липополисахариды (LPS, lipopolysaccharide), флагеллины, молекулярные структуры на поверхности бактериальных клеток, а также молекулярные фрагменты внутри фагосом (вакуолей, образующихся в процессе фагоцитоза, внутри которых находятся субстраты, подлежащие перевариванию) [2, 3]. При этом существуют патогены, например *Mycobacterium tuberculosis*, которые являются внутриклеточными, — они часто находятся в специализированных компартментах клетки и могут своеобразным способом уклоняться от внеклеточной иммунной сигнализации [4].

Целью данного исследования является анализ генетической и молекулярной структуры иммунного ответа на бактериальные факторы окружающей среды, а также анализ механизмов и особенностей реагирования организма животных, разработанные и проанализированные в рамках работ по проектам экосистемы iДНК-ПЛЕМстат МСХ РФ. Нами был проведен анализ последних литературных и молекулярных данных по ряду исследований реакций врожденного иммунитета на бактерии в цитозоле животных и обоснование того, как внутриклеточная идентификация бактерий может влиять на иммунный ответ.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований являлись научные данные и результаты их статистической обработки по модельным млекопитающим и сельскохозяйственным животным. Работа осуществ-

влялась в ОС Linux Mint 20.3, а также при помощи таких информационных сетей, как SAS, NCBI Taxonomy, KEGG, GO и UNIPROT. При работе использовались методологии классической и популяционной генетики.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Распознавание внутриклеточных бактериальных патогенов

Специфическое распознавание обеспечивает иммунный ответ, который у животных приводит к максимальной эффективности защиты при инфекции. В том числе такие процессы требуют наличия в ткани цитотоксических клеток Т-лимфоцитов или иммунного ответа через Т-хелперы типа Th1 [5].

В последние годы выявлено новое большое семейство белков нуклеотидсвязывающих рецепторов, подобных домену олигомеризации (NLR, nucleotide-binding oligomerization domain-like receptors), функционально предназначенных для связывания нуклеиновых кислот и несущих домен олигомеризации (NOD, nucleotide-binding oligomerization domain-like receptors).

Эти белки имеют структуру адоменов, подобную семейству цитозольных R-белков, опосредующих устойчивость к фитопатогенам [6, 7]. Высказана гипотеза, что NLR регулируют иммунитет таким образом, что происходит распознавание бактериальных молекул в цитозоле [8]. Идентифицированы цитоплазматические рецепторы, вызывающие противовирусный иммунный ответ через узнавание вирусной дцРНК (двухцепочечной РНК): ген I, индуцируемый ретиноевой кислотой (RIGI, retinoic acid-inducible gene) и ген 5, связанный с дифференцировкой меланом (MDA-5, melanoma differentiation-associated protein) [9, 10].

Молекулы NLR и TLR узнают множество бактериальных молекул (рис. 1, табл. 1). Каждый член семейства рецепторов содержит область повторов, богатую лейцином (LRR, leucine-rich repeats), NACHT-домен (Pfam номер PF05729), а также сигнальные модули: домен активации и рекрутирования каспазы (CARD, caspase recruitment domain-containing protein), пирин, или бакуловирусный ингибитор повторения апоптоза (BIR, Baculovirus IAP repeat) [11].

Активация молекул NLR стимулирует два сигнальных пути: активации фактора ядерной транскрипции NF-κB, а также инфламасомы. Молекула NF-κB – это гетеродимерный фактор транскрипции (промежуточный белковый продукт, который затем трансформируется в два фактора), она является ключевым регулятором противовоспалительного ответа и активирует гены, кодирующие цитокины и химические факторы стимуляции [12].

Фактор NF-κB активируется внеклеточным связыванием с TLR микробных лигандов, и, таким образом, механизмы сигнализации NLR и TLR запускаются независимо. Сигналы от обоих путей будут пересекаться, но при этом использовать общие промежуточные соединения, такие как комплекс ингибитора киназы κB (IKK) (рис. 2). Молекулы NLR также активируют каспазу-1 через образование инфламасом – мультибелковых комплексов, запускаемых различными активаторами (многобелковый олигомерный комплекс, отвечающий за активацию воспалительного ответа) (см. рис. 1) [13].

Самые важные функции каспазы-1 и инфламасомы заключаются в переваривании молекул предшественников воспалительных цитокинов про-IL1 и про-IL18 в их зрелые и активные формы, а также в том, чтобы вызывать гибель клеток-носителей возбудителя. Передача сигналов через TLR индуцирует экспрессию про-IL1β. При этом происходит дополнительная активация NLR и далее каспазы-1, расщепление зрелых и активных форм IL1β, их секреция [14].

Рецепторы распознавания внутриклеточных паттернов PRR (некий шаблон, образ молекулярной конструкции возбудителя (организма), обладающий заданной биологической функцией для проникновения в клетку, в т.ч. влиянием на защиту, внедрение, проникновение, иммунитет и т.п.) позволяют организму животных выявлять присутствие бактериальных компонентов в цитозоле и активировать противовоспалительную реакцию. При этом NOD1 и NOD2 узнают в цитозоле муропептиды, полученные из пептидогликана, и образуют комплекс с RICK (RIP, receptor-interacting protein, каспазоподобная протеинкиназа апоптоза, также известная как RIP2). Активация RICK приводит к транслокации в ядро NF-κB с целью дальнейшей индукции и транскрипции генов цитокинов.

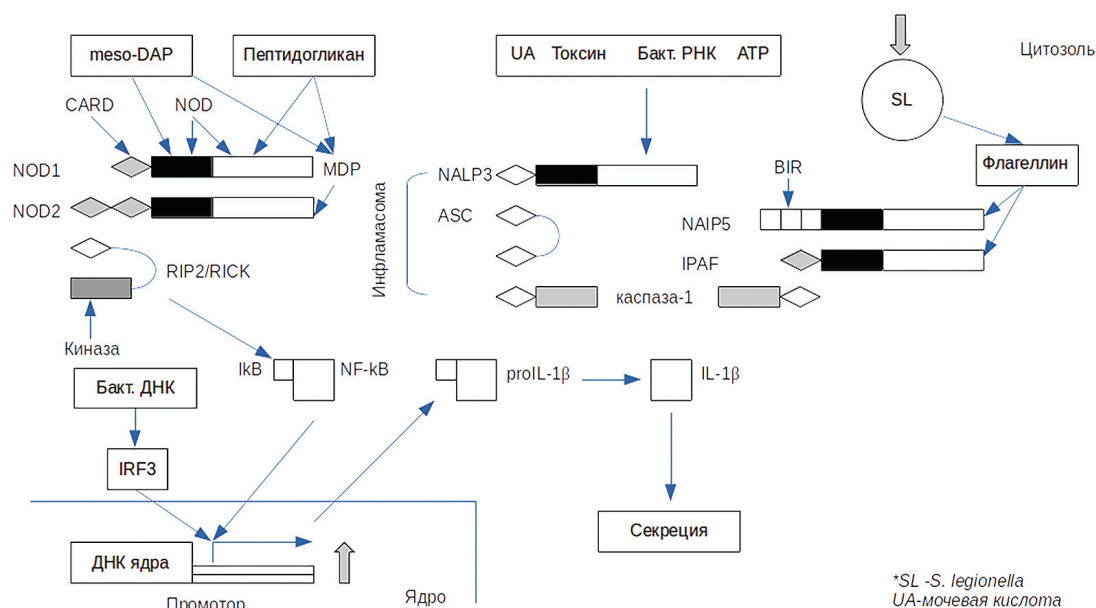


Рис. 1. Внутриклеточные рецепторы стимуляции иммунного ответа во время бактериальной инфекции

Intracellular receptors for stimulating the immune response during bacterial infection

Рецептор NALP3 распознает MDP и бактериальную РНК, эндогенные кристаллы мочевой кислоты, а также высокие концентрации АТР в цитозоле (рецептор NALP1b, реагирующий на летальный токсин возбудителя сибирской язвы, не будет рассмотрен). Активация NALP3 приводит к образованию инфламмосомы, включающей NALP3 – гидрофобный белок, связанный с апоптозом, который содержит домен привлечения каспазы-1, вызывая ее дальнейшее расщепление и активацию. Активная

форма каспазы-1 (caspase-1), в свою очередь, расщепляет предшественник проIL1β до получения его зрелой формы – IL1β, которая затем секретируется из клетки. Рецепторы NAIP5 и IPAF узнают цитозольный флагеллин и также активируют каспазу-1. Цитозольная чужеродная ДНК активирует фактор регуляции транскрипции интерферона-3 (IRF3) и воспринимается в клетке не известным сегодня рецептором (см. рис. 1).

Таблица 1

Внутриклеточные рецепторы ассоциированных с бактериальными патогенами молекулярных паттернов
Intracellular receptors of bacterial pathogen-associated molecular patterns

Семейство рецептора	Наименование	Альтернативное наименование	Лиганд
NOD	NOD1	Card4, CLR7.1	MesoDAP, содержащий муропептиды
	NOD2	Card15, IBD1, PSORAS1, CLR16.3	MDP
NALP	NALP1	Kiaa0926, DEFCAP, NAC, CARD7	Летальный токсин <i>Bacillus anthracis</i>
	NALP3	Криопирин, PYPAF1, CIAS1, CLR1.1	RNA, ATP, мочевые кислоты, MDP
NAIP	NAIP5	BIRC1e	Флагеллин
IPAF	IPAF	Card12, CLAN, CLR2.1	Флагеллин

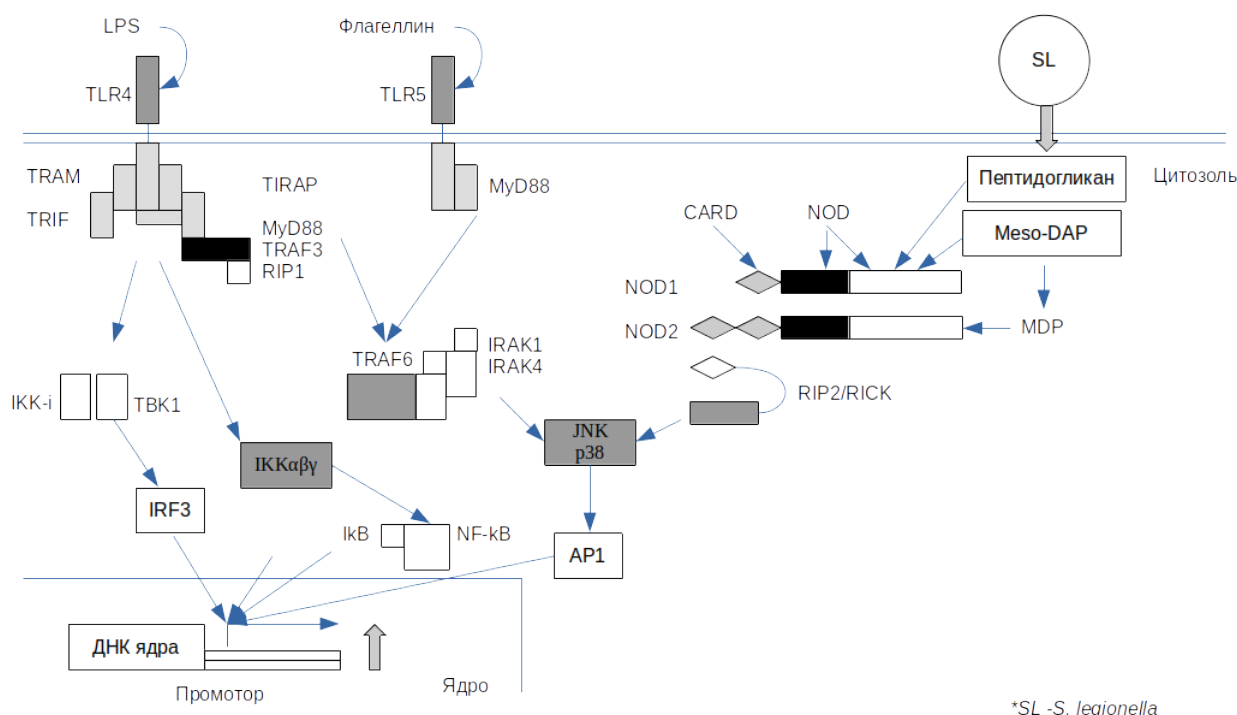


Рис. 2. Связь внеклеточной и внутриклеточной систем передачи сигналов врожденного иммунитета

Relationship between extracellular and intracellular innate immune signalling systems

Связывание лиганда с TLR притягивает в клетки тканей внутриклеточные адаптерные молекулы, которые содержат домен рецептора Toll-интерлейкина-1 (TIR1), а также адаптерный белок (TIRAP) и MyD88. Затем TLR связываются с комплексом сигнальных молекул IRAK4 и IRAK1, активируют TRAF6, что приводит к деградации комплекса IκB, высвобождению фактора NFκB и его перемещению в ядро. Рецептор TLR4 передает сигнал через комплексы TRAF3, TRIF, TRAM и RIP1, активируя TANK-связывающую киназу-1 (TBK1), а после этого – фактор транскрипции IRF3. К активации процесса внутриклеточной идентификации патогенов также приводит вовлечение в иммунную реакцию рецепторов NOD1 и NOD2, и далее происходит передача сигнала через активацию факторов NF-κB, RICK (также известный как RIP2) и комплекс ингибитора киназы IκB (IKK) (см. рис. 2) [15].

2. Взаимодействие рецепторов молекул пептидогликанов NOD1 и NOD2 с молекулами бактерий

Рецепторы NOD1 и NOD2 являются архетипическими членами семейства NLR [8, 16]. Оба белка реагируют на компоненты пептидогликана (PG), полимерной структуры бактерий, образующей у них жесткую клеточную стенку. Рецептор NOD1, который экспрессируется во всех тканях повсеместно, узнает PG-производные мезо-диаминопиме-

линовой кислоты (DAP) – мурамилпептиды, также являющиеся компонентами клеточной стенки у грамотрицательных бактерий [17]. Активность NOD1 инициируется DAP-мурамилтрипептидом [18]. Как минимум, для инициации сигнала NOD необходим мурамилдипептид (MDP), обнаруживаемый как у грамположительных, так и у грамотрицательных бактерий, который вызывает в моноцитах, макрофагах, дендритных и эпителиальных клетках кишечника исключительно экспрессию NOD2 [16, 19]. При этом чувствительность лиганда определяют аминокислотные остатки LRR, расположенные на внутренней вогнутой поверхности мотива NOD [17, 20]. После связывания с лигандом NOD1 и NOD2 через активацию NF-κB запускают сигнал через C-jun-N-концевую киназу (JNK), образуя через домены CARD мультибелковые комплексы (см. рис. 1, 2).

Важность NOD в регуляции воспаления подтверждается ассоциациями между мутациями в генах NOD1 и NOD2 и аутовоспалительными заболеваниями [19, 21–23]. Таким образом, данные по инфекции, полученные в клеточных культурах и на модельных животных, подтверждают роль рецепторов NOD в инициировании воспаления посредством индукции экспрессии генов цитокинов. Например, модельные животные –нокаутированные *Nod2^{-/-}* мыши, несущие консервативный аллель *Nod_22939insC*, не

были восприимчивы к внутривенной инфекции *Listeria monocytogenes*, а также они не проявляли спонтанного кишечного воспаления [5, 24].

В модели с человеком консервативный аллель Nod_3020 *ins C* – мутация сдвига рамки считывания – приводила к усечению 33 аминокислот из С-конца белка и обуславливала изменение экспрессии цитокинов NFκB [25]. При этом у гомозиготных мышей-мутантов, которым назначили, чтобы вызвать дисфункцию кишечного барьера, декстрансульфат натрия, наблюдалось усиление воспаления толстой кишки [26]. Мыши с Nod2^{-/-} при пероральном приеме *L. monocytogenes* были более восприимчивы к инфицированию из-за снижения экспрессии криптдинов (секретируемых антимикробных пептидов семейства β-дефенсинов) [24]. Таким образом, иммунная функция NOD2, преобладающая в антибактериальном иммунитете, перекрывает кишечный барьер не системно.

3. Взаимодействие рецепторов бактериальной РНК, бактериальных токсинов, пептидогликана, NALP1 и NALP3

Подсемейство рецепторов NLR крупного рогатого скота включает: рецепторы NACHT, LRR и домен PYRIN (NALP). Молекулы NLR имеют структуру, аналогичную рецепторам NOD, но содержат, в дополнение к домену CARD, домен PYRIN (см. рис. 1). Домен NALP специфично связывается с NALP1b, например в ответ на влияние летального токсина сибирской язвы (LeTx, состоит из защитного антигена и летального фактора LF), при этом опосредуется активация каспазы-1 и некроз [27, 28], изменяется восприимчивость макрофагов. При взаимодействии с антигенами фактор Виллебранда типа А или интегрированный домен, содержащий рецепторы токсина сибирской язвы-1 и рецептор токсина антракса-2 (antrax-2), при непосредственном участии рецептора NALP1b, обеспечивает перенос LF в цитозоль [29].

Домен NALP3 (известен также как криопирин или CIAS1) реагирует с несколькими лигандами: во-первых, с внутриклеточной бактериальной РНК, MDP, что приводит к образованию NALP3-регулируемых инфламмасом (см. рис. 1). Далее по аналогии с рецепторами NOD, LRR NALP3 определяет активацию MDP в ответ на индукцию секреции IL1β. Если в цитозоль ввести MDP, то это простимулирует созревание проIL1β, но не вызовет секрецию IL1β. Расщепление и секреция IL1 происходят лишь при добавлении LPS, а MDP, таким образом, обеспечивает внеклеточные сигналы через TLR и NLR. Макрофаги с точечной мутацией

в домене NALP3 сверхчувствительны к MDP и выделяют высокий уровень IL1β.

В настоящее время не обнаружено никаких доказательств того, что домен NALP3 в ответ на влияние MDP способствует секреции IL1β [7]. Такое несоответствие может быть вызвано различиями между молекулярной структурой NALP3 или отсутствием в качестве лиганда LPS. При этом пока неизвестно, как бактериальная РНК, типы ее структур, а также соединения имидазохинолина зависимо от NALP3 стимулируют секрецию IL1 и IL1β [30].

Домен NALP3 также реагирует на немикробные триггеры: АТР, кристаллы натриевой соли мочевой кислоты и токсины, внутриклеточные запасы калия, нигерицин или майтотоксин [31, 32], а для эффективной секреции IL1β необходима стимуляция за счет АТР и LPS [33]. При патологических состояниях животных наблюдаются внутриклеточные накопления MDP, высокие концентрации АТР, кристаллы мочевой кислоты, а также потеря внутриклеточного запаса калия. Это рассматривается как сигнал опасности (по вопросу сигналов опасности в клетке будет нами будет проведено отдельное исследование). Следовательно, домен NALP3 способен либо непосредственно реализовать такие структурно не сопоставимые сигналы, либо интегрировать эти сигналы от сильно различающихся путей метаболизма в единую систему сигнализации организма.

4. Рецепторы бактериального флагеллина NAIP5 и IPAIF

Свойства рецептора нейронального белка-5 (NAIP5), ингибирующего апоптоз, уникальны среди NLR тем, что он имеет в качестве эффекторного модуля, в дополнение к доменам NOD и LRR, аминоконцевой набор мотивов BIR [34]. Полиморфизм локуса Naip5 (Bircle), обнаруженный в биологической модели A/J лабораторных мышей, приводит их к повышенной восприимчивости к инфекции грамотрицательным патогеном *Legionella pneumophila* [35–37]. При этом дикий тип рецептора NAIP5 узнает бактериальный флагеллин, иницируется через каспазу-1 и вызывает гибель макрофагов [12, 34, 38].

Рецептор TLR5 обнаруживает внеклеточный флагеллин, передает сигнал через адаптерный белок MyD88. Получается, что активация каспазы-1 происходит одновременно как через NAIP5, так и TLR5-MyD88 – независимым образом, требуя от иммунной системы обеспечения транспорта антигена в цитозоль.

Индуктирование бактериями *L. pneumophila* гибели клеток зависит от системы секреции бактерий IV типа. Предполагается, что система

секреции IV типа является вероятным каналом атаки на клетку, поэтому флагеллин может проникать в цитозоль [12, 34].

На флагеллин *Salmonella enterica serovar typhimurium* (*S. typhimurium*) реагирует домен NAIP5. Это указывает на то, что связывание NAIP5 не происходит, и реагирование для *L. pneumophila* является специфичным [39]. Для связывания с лигандом NAIP5 иммунной системе дополнительно требуется фактор активации протеазы ICE (IPAF) и каспаза-1. В таком случае рост *L. pneumophila* в макрофагах ограничивается, и при этом не нужен IL1 β [12, 15, 21, 32, 34].

В C57BL/6 макрофагах способны активно расти бактерии с дефицитом флагеллина [34, 38]. Это указывает на клеточно-автономную антимикробную функцию NAIP5 и каспазы-1, которая отличается от провоспалительной реакции, опосредованной IL1 β .

В обнаружении флагеллина *S. typhimurium* также участвует рецептор IPAF. Здесь флагеллин, доставляемый в цитозоль, связывается с рецептором и запускает сигнальную сеть иммунной системы, – активирует каспазу-1 через путь сигнализации IPAF, независимо от сигнализации через рецептор TLR5. При этом IPAF-зависимая активация каспазы-1 требует неповрежденной системы секреции III типа, кодируемой через гены патогенности сальмонелл (PE-1) и гены, кодирующие флагеллин [14, 40].

Так как активация с помощью *S. typhimurium* каспазы-1 зависит от систем секреции III и IV типа, то, соответственно, флагеллин и другие бактериальные лиганды могут проникать в цитозоль, например, через системы секреции факторов вирулентности. Сегодня не установлено, являются ли IPAF или NAIP5 для выявления флагеллина в цитозоле основными рецепторами, но ясно, что они могут действовать совокупно [11–12, 27, 35].

Проводятся исследования по выявлению новых цитозольных рецепторов бактерий. Одним из перспективных белков является лектин галектин-3 (LG3, lectin galectin-3), который связывается с молекулами LPS многих видов бактерий и регулирует привлечение в тканях моноцитов и полиморфно-ядерных лейкоцитов [41]. Конкретный вклад LG3 в чувствительность к микробным патогенам неизвестен, определено, что этот белок присутствует в цитозоле, а также секретируется внеклеточно.

Другим кандидатом на роль молекул, распознающих цитозольные паттерны бактерий, является dectin-1, рецептор β -глюкана. Он связывается с грибами и представляет собой класс

рецепторов распознавания паттернов клеточной поверхности [42].

На основании данных о передаче сигналов в ответ на бактериальные лиганды в цитозольном компартменте можно сделать вывод о существовании целого ряда не идентифицированных рецепторов. В этой работе описаны шесть новых белков NLR, которые отвечают за реакцию организма животных на бактериальные лиганды, но известно, что семейство рецепторов NLR человека содержит еще более 30 белков [6], и пока неизвестно, сколько таких молекул будет открыто у крупного рогатого скота, все ли члены семейства NLR воспринимают микробные лиганды как сигналы опасности или это лишь некоторые молекулы, такие как СИТА, регулятор транскрипции генов МНСII. Например, в присутствии ДНК *L. monocytogenes* в цитозоле индуцируется экспрессия IFN α , но при этом рецептор, ответственный за передачу сигнала, не идентифицирован до сих пор [4, 39, 43].

Вирулентный зоонозный патоген *Francisella tularensis* через ассоциированный с апоптозом гидрофобный белок, содержащий домен привлечения каспазы (ASC), запускает образование инфламмосом, при этом используя каспаза-1-зависимый способ попадания в цитозоль клетки (с дальнейшим циклом жизни и размножения в нем). При этом не выявлен какой-либо вероятный рецепторный домен [44].

Показано, что при проникновении бактерий в цитоплазму бактериальная поверхность покрывается убиквитином [45]. На данный момент неясно, какие лиганды или белки запускают процесс убиквитилирования у животных, а также какие молекулы задействованы для этих модификаций, на каком системном уровне и какую функцию выполняет убиквитилирование во врожденном иммунном ответе.

С бактериями (например *M. tuberculosis* и *Streptococcus pyogenes*) в цитозоле клетки организма могут бороться посредством аутофагии, – процесса, при котором цитозольные частицы захватываются клеточными мембранами и отправляются в лизосомы для дальнейшего переваривания [46–48]. Этот процесс запускается при проникновении бактерий в цитозоль в тот момент, когда вакуолярные патогены вызывают повреждение мембраны. При этом в вакуолярную мембрану внедряются специализированные механизмы секреции. Триггер этого процесса также пока еще не известен [49, 50].

ВЫВОДЫ

1. Рецепторы NLR играют важную роль в мониторинге цитозоля млекопитающих, обе-

спечивая узнавание бактериальных патогенов в иммунной системе [2, 51]. Сигнал о лиганде антигена в клетке организма животных передается, усиливается и синергизируется с сигналами от рецепторов клеточной поверхности, таких как TLR. Конечным результатом цитозольной передачи сигналов NLR является запуск провоспалительного ответа через путь активации и секреции цитокинов, NFκB и инфламасомы. При воздействии мутаций в генах системы сигнализации может возникать аутоиммунная реакция [26].

2. Физиологическая роль рецепторов NLR в эффективности воспалительного ответа еще не изучена полностью. Рецепторы NAIP5 и IRAF, по-видимому, важны для узнавания флагеллина *in vitro*, но как это будет наблюдаться на сельскохозяйственных животных, пока не понятно [35, 36, 50]. Дальнейшие исследования, несомненно, прольют свет на то, какие средовые факторы важны, как развивается экспрессия белков иммунитета в клетках в случаях цитозольного поражения, какова избыточность

и специфичность лигандов, как формируется вклад каждого цитозольного рецептора в общую схему врожденного иммунного ответа [42, 51]. Только при таком комплексном подходе к улучшению качества молока и увеличению молочной продуктивности животных и борьба за здоровье коров будет успешной.

Работа поддержана государственным заданием МСХ РФ №2.1.1. «Проведение исследований по разработке способов селекции животных на повышение естественной резистентности в продуктивном периоде и жизнеспособности племенного молодняка при выращивании» по теме «Изучение влияния генных структур крови в детерминации повышенной жизнеспособности крупного рогатого скота и разработка методов их использования в селекции животных на повышение жизнеспособности».

Благодарим доцента, кандидата сельскохозяйственных наук, ведущего научного сотрудника ВНИИплем, заведующего Липецкой лабораторией разведения крупного рогатого скота Н.Ф. Щеголькова за консультации и помощь в написании этой работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Medzhitov R., Janeway Jr C.A. An ancient system of host defense // Current opinion in immunology. – 1998. – Vol. 10, N 1. – P. 12–15. – DOI: 10.1016/s0952-7915(98)80024-1.
2. Генотипная селекция как основа племенной работы / А.Е. Калашников, А.И. Голубков, В.Г. Труфанов и др. // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 7 (172). – P. 163–170. – DOI: 10.36718/1819-4036-2021-7-163-170.
3. Kawai T., Akira S. TLR signaling // Seminars in immunology. – Academic Press, 2007. – Vol. 19, N 1. – P. 24–32. – DOI: 10.1016/j.smim.2006.12.004.
4. Innate recognition of bacteria by a macrophage cytosolic surveillance pathway / M. O’Riordan, C.H. Yi, R. Gonzales [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2002. – Vol. 99, N 21. – P. 13861–13866. – DOI: 10.1073/pnas.202476699.
5. Pamer E.G. Immune responses to *Listeria monocytogenes* // Nature Reviews Immunology. – 2004. – Vol. 4, N 10. – P. 812–823. – DOI: 10.1038/nri1461.
6. NOD-LRR proteins: role in host-microbial interactions and inflammatory disease / N. Inohara, M. Chamaillard, C. McDonald, G. Nunez // Annu. Rev. Biochem. – 2005. – Vol. 74. – P. 355–383. – DOI: 10.1146/annurev.biochem.74.082803.133347.
7. Martinon F., Tschopp J. NLRs join TLRs as innate sensors of pathogens // Trends in immunology. – 2005. – Vol. 26, N 8. – P. 447–454. – DOI: 10.1016/j.it.2005.06.004.
8. Human Nod1 confers responsiveness to bacterial lipopolysaccharides / N. Inohara, Y. Ogura, F.F. Chen [et al.] // Journal of Biological Chemistry. – 2001. – Vol. 276, N 4. – P. 2551–2554. – DOI: 10.1074/jbc.M009728200.
9. Dostert C., Meylan E., Tschopp J. Intracellular pattern-recognition receptors // Advanced drug delivery reviews. – 2008. – Vol. 60, N 7. – P. 830–40. – DOI: 10.1016/j.addr.2007.12.003.
10. Differential roles of MDA5 and RIG-I helicases in the recognition of RNA viruses / H. Kato, O. Takeuchi, S. Sato [et al.] // Nature. – 2006. – Vol. 441, N 7089. – P. 101–105. – DOI: 10.1038/nature04734.
11. Coupling pathogen recognition to innate immunity through glycan-dependent mechanisms / R.C. Davicino, R.J. Elisabe, M.S. Di Genaro, G.A. Rabinovich // International immunopharmacology. – 2011. – Vol. 11, N 10. – P. 1457–1463. – DOI: 10.1016/j.intimp.2011.05.002.

12. Bonizzi G., Karin M. The two NF- κ B activation pathways and their role in innate and adaptive immunity // Trends in immunology. – 2004. – Vol. 25, N 6. – P. 280–288. – DOI: 10.1016/j.it.2004.03.008.
13. Martinon F., Burns K., Tschopp J. The inflammasome: a molecular platform triggering activation of inflammatory caspases and processing of proIL- β // Molecular cell. – 2002. – Vol. 10, N 2. – P. 417–426. – DOI: 10.1016/s1097-2765(02)00599-3.
14. Cytoplasmic flagellin activates caspase-1 and secretion of interleukin 1 β via Ipaf / E.A. Miao, C.M. Alpujch-Aranda, M. Dors [et al.] // Nature immunology. – 2006. – Vol. 7, N 6. – P. 569–575. – DOI: 10.1038/ni1344.
15. Matzinger P. The danger model: a renewed sense of self // Science. – 2002. – Vol. 296, N 5566. – P. 301–305. – DOI: 10.1126/science.1071059.
16. Nod2, a Nod1/Apaf-1 family member that is restricted to monocytes and activates NF-kappaB / Y. Ogura, N. Inohara, A. Benito [et al.] // Journal of Biological Chemistry. – 2001. – Vol. 276, N 7. – P. 4812–4818. – DOI: 10.1074/jbc.M008072200.
17. Nod1 detects a unique muropeptide from gram-negative bacterial peptidoglycan / S.E. Girardin, I.G. Boneca, L.A. Carneiro [et al.] // Science. – 2003. – Vol. 300 N 5625. – P. 1584–1587. – DOI: 10.1126/science.1084677.
18. Murine Nod1 but not its human orthologue mediates innate immune detection of tracheal cytotoxin / J.G. Magalhaes, D.J. Philpott, M.A. Nahori [et al.] // EMBO reports. – 2005. – Vol. 6, N 12. – P. 1201–1207. – DOI: 10.1038/sj.embor.7400552.
19. Nod2 is a general sensor of peptidoglycan through muramyl dipeptide (MDP) detection / S.E. Girardin, I.G. Boneca, J. Viala [et al.] // Journal of Biological Chemistry. – 2003. – Vol. 278, N 11. – P. 8869–8872. – DOI: 10.1074/jbc.C200651200.
20. Regulatory regions and critical residues of NOD2 involved in muramyl dipeptide recognition / T. Tanabe, M. Chamaillard, Y. Ogura [et al.] // The EMBO journal. – 2004. – Vol. 23, N. 7. – P. 1587–1597.
21. Association of NOD2 leucine-rich repeat variants with susceptibility to Crohn's disease / J.P. Hugot, M. Chamaillard, H. Zouali [et al.] // Nature. – 2001. – Vol. 411, N 6837. – P. 599–603. – DOI: 10.1038/35079107.
22. Association between a complex insertion/deletion polymorphism in NOD1 (CARD4) and susceptibility to inflammatory bowel disease / D.P. McGovern, P. Hysi, T. Ahmad [et al.] // Human molecular genetics. – 2005. – Vol. 14, N 10. – P. 1245–1250. – DOI: 10.1093/hmg/ddi135.
23. A frameshift mutation in NOD2 associated with susceptibility to Crohn's disease / Y. Ogura, D.K. Bonen, N. Inohara [et al.] // Nature. – 2001. – Vol. 411, N 6837. – P. 603–606. – DOI: 10.1038/35079114.
24. Nod2-dependent regulation of innate and adaptive immunity in the intestinal tract / K.S. Kobayashi, M. Chamaillard, Y. Ogura [et al.] // Science. – 2005. – Vol. 307, N 5710. – P. 731–734. – DOI: 10.1126/science.1104911.
25. Eckmann L., Karin M. NOD2 and Crohn's disease: loss or gain of function? // Immunity. – 2005. – Vol. 22, N 6. – P. 661–667. – DOI: 10.1016/j.immuni.2005.06.004.
26. Nod2 mutation in Crohn's disease potentiates NF-kappaB activity and IL-1beta processing / S. Maeda, L.C. Hsu, H. Liu [et al.] // Science. – 2005. – Vol. 307, N 5710. – P. 734–738. – DOI: 10.1126/science.1103685.
27. Boyden E.D., Dietrich W.F. Nalp1b controls mouse macrophage susceptibility to anthrax lethal toxin // Nature genetics. – 2006. – Vol. 38, N 2. – P. 240–244. – DOI: 10.1038/ng1724.
28. Scobie H.M., Young J.A.T. Interactions between anthrax toxin receptors and protective antigen // Current opinion in microbiology. – 2005. – Vol. 8, N 1. – P. 106–112. – DOI: 10.1016/j.mib.2004.12.005.
29. Identification of bacterial muramyl dipeptide as activator of the NALP3/cryopyrin inflammasome / F. Martinon, L. Agostini, E. Meylan, J. Tschopp // Current Biology. – 2004. – Vol. 14, N 21. – P. 1929–1934. – DOI: 10.1016/j.cub.2004.10.027.
30. Bacterial RNA and small antiviral compounds activate caspase-1 through cryopyrin/Nalp3 / T.D. Kanneganti, N. Ozoren, M. Body-Malapel [et al.] // Nature. – 2006. – Vol. 440, N 7081. – P. 233–236. – DOI: 10.1038/nature04517.

31. *Cryopyrin* activates the inflammasome in response to toxins and ATP / S. Mariathasan, D.S. Weiss, K. Newton [et al.] // *Nature*. – 2006. – Vol. 440, N 7081. – P. 228–232. – DOI: 10.1038/nature04515.
32. *Gout-associated* uric acid crystals activate the NALP3 inflammasome / F. Martinon, V. Pétrilli, A. Mayor [et al.] // *Nature*. – 2006. – Vol. 440, N 7081. – P. 237–241. – DOI: 10.1038/nature04516.
33. *Critical* role for NALP3/CIAS1/Cryopyrin in innate and adaptive immunity through its regulation of caspase-1 / F.S. Sutterwala, Y. Ogura, M. Szczepanik [et al.] // *Immunity*. – 2006. – Vol. 24, N 3. – P. 317–327. – DOI: 10.1016/j.immuni.2006.02.004.
34. *Cytosolic* recognition of flagellin by mouse macrophages restricts *Legionella pneumophila* infection / A.B. Molofsky, B.G. Byrne, N.N. Whitfield [et al.] // *The Journal of experimental medicine*. – 2006. – Vol. 203, N 4. – P. 1093–1104. – DOI: 10.1084/jem.20051659.
35. *Birc1e* is the gene within the *Lgn1* locus associated with resistance to *Legionella pneumophila* / E. Diez, S.H. Lee, S. Gauthier [et al.] // *Nature genetics*. – 2003. – Vol. 33, N 1. – P. 55–60. – DOI: 10.1038/ng1065.
36. *Naip5* affects host susceptibility to the intracellular pathogen *Legionella pneumophila* / Jr E.K. Wright, S.A. Goodart, J.D. Growney [et al.] // *Current biology*. – 2003. – Vol. 13, N 1. – P. 27–36. – DOI: 10.1016/s0960-9822(02)01359-3.
37. *The Birc1e* cytosolic pattern-recognition receptor contributes to the detection and control of *Legionella pneumophila* infection / D.S. Zamboni, K.S. Kobayashi, T. Kohlsdorf [et al.] // *Nature immunology*. – 2006. – Vol. 7, N 3. – P. 318–325. – DOI: 10.1038/ni1305.
38. *Flagellin-deficient* *Legionella* mutants evade caspase-1 and Naip5-mediated macrophage immunity / T. Ren, D.S. Zamboni, C.R. Roy [et al.] // *PLoS pathogens*. – 2006. – Vol. 2, N 3. – P. e18. – DOI: 10.1371/journal.ppat.0020018.
39. *O’Riordan M., Portnoy D.A.* The host cytosol: front-line or home front? // *Trends in microbiology*. – 2002. – Vol. 10, N 8. – P. 361–364. – DOI: 10.1016/s0966-842x(02)02401-0.
40. *Cytosolic* flagellin requires Ipaf for activation of caspase-1 and interleukin 1 β in salmonella-infected macrophages / L. Franchi, A. Amer, M. Body-Malapel [et al.] // *Nature immunology*. – 2006. – Vol. 7, N 6. – P. 576–582. – DOI: 10.1038/ni1346.
41. *Sato S., Nieminen J.* Seeing strangers or announcing “danger”: galectin-3 in two models of innate immunity // *Glycoconjugate journal*. – 2002. – Vol. 19, N 7. – P. 583–591. – DOI: 10.1023/B:GLYC.0000014089.17121.cc.
42. *Brown G.D., Gordon S.* Immune recognition. A new receptor for beta-glucans // *Nature*. – 2001. – Vol. 413, N 6851. – P. 36–37. – DOI: 10.1038/35092620.
43. *Stetson D.B., Medzhitov R.* Recognition of cytosolic DNA activates an IRF3-dependent innate immune response // *Immunity*. – 2006. – Vol. 24, N 1. – P. 93–103. – DOI: 10.1016/j.immuni.2005.12.003.
44. *Innate* immunity against *Francisella tularensis* is dependent on the ASC/caspase-1 axis / S. Mariathasan, D.S. Weiss, V.M. Dixit, D.M. Monack // *The Journal of experimental medicine*. – 2005. – Vol. 202, N 8. – P. 1043–1049. – DOI: 10.1084/jem.20050977.
45. *Recognition* of bacteria in the cytosol of mammalian cells by the ubiquitin system / A.J. Perrin, X. Jiang, C.L. Birmingham [et al.] // *Current biology*. – 2004. – Vol. 14, N 9. – P. 806–811. – DOI: 10.1016/j.cub.2004.04.033.
46. *Autophagy* controls *Salmonella* infection in response to damage to the *Salmonella*-containing vacuole / C.L. Birmingham, A.C. Smith, M.A. Bakowski [et al.] // *Journal of Biological Chemistry*. – 2006. – Vol. 281, N 16. – P. 11374–11383. – DOI: 10.1074/jbc.M509157200.
47. *Autophagy* defends cells against invading group A *Streptococcus* / I. Nakagawa, A. Amano, N. Mizushima [et al.] // *Science*. – 2004. – Vol. 306, N 5698. – P. 1037–1040. – DOI: 10.1126/science.1103966.
48. *Human* IRGM induces autophagy to eliminate intracellular mycobacteria / S.B. Singh, A.S. Davis, G.A. Taylor, V. Deretic // *Science*. – 2006. – Vol. 313, N 5792. – P. 1438–1441. – DOI: 10.1126/science.1129577.
49. *Mycobacterium tuberculosis* inhibition of phagolysosome biogenesis and autophagy as a host defence mechanism / V. Deretic, S. Singh, S. Master [et al.] // *Cellular microbiology*. – 2006. – Vol. 8, N 5. – P. 719–727. – DOI: 10.1111/j.1462-5822.2006.00705.x.

50. *Role of the caspase-1 inflammasome in Salmonella typhimurium pathogenesis* / M. Lara-Tejero, F.S. Sutterwala, Y. Ogura [et al.] // *The Journal of experimental medicine*. – 2006. – Vol. 203, N 6. – P. 1407–1412. – DOI: 10.1084/jem.20060206.
51. *Генетическая изменчивость и функциональные различия толл - подобных рецепторов* / К. Новак, А.Е. Калашников, Л.А. Калашникова и др. // *Проблемы биологии продуктивных животных*. – 2021. – № 2. – P. 22–37. – DOI 10.25687/1996-6733.prodanimbio.2021.2.22-37.

REFERENCES

1. Medzhitov R., Janeway Jr C.A., An ancient system of host defense, *Current opinion in immunology*, 1998, Vol. 10, No. 1, pp. 12–15, DOI: 10.1016/s0952-7915(98)80024-1.
2. Kalashnikov A.E., Golubkov A.I., Trufanov V.G., Gosteva E.R., Yaluga V.L., Prozherin V.P., *Vestnik KrasGAU*, 2021, No. 7 (172), pp. 163–170, DOI 10.36718/1819-4036-2021-7-163-170. (In Russ.)
3. Kawai T., Akira S., TLR signaling, *Seminars in immunology*, Academic Press, 2007, Vol. 19, No. 1, pp. 24–32, DOI: 10.1016/j.smim.2006.12.004.
4. O’Riordan M., Yi C.H., Gonzales R., Lee K.D., Portnoy D.A., Innate recognition of bacteria by a macrophage cytosolic surveillance pathway, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2002, Vol. 99, No. 21, pp. 13861–13866, DOI: 10.1073/pnas.202476699.
5. Pamer E.G., Immune responses to *Listeria monocytogenes*, *Nature Reviews Immunology*, 2004, Vol. 4, No. 10, pp. 812–823, DOI: 10.1038/nri1461.
6. Inohara N., Chamaillard M., McDonald C., Nunez G., NOD-LRR proteins: role in host-microbial interactions and inflammatory disease, *Annu. Rev. Biochem*, 2005, Vol. 74, pp. 355–383, DOI: 10.1146/annurev.biochem.74.082803.133347.
7. Martinon F., Tschopp J., NLRs join TLRs as innate sensors of pathogens, *Trends in immunology*, 2005, Vol. 26, No. 8, pp. 447–454, DOI: 10.1016/j.it.2005.06.004.
8. Inohara N., Ogura Y., Chen F.F., Muto A., Nunez G., Human Nod1 confers responsiveness to bacterial lipopolysaccharides, *Journal of Biological Chemistry*, 2001, Vol. 276, No. 4, pp. 2551–2554, DOI: 10.1074/jbc.M009728200.
9. Dostert C., Meylan E., Tschopp J., Intracellular pattern-recognition receptors, *Advanced drug delivery reviews*, 2008, Vol. 60, No. 7, pp. 830–840, DOI: 10.1016/j.addr.2007.12.003.
10. Kato H., Takeuchi O., Sato S. [et al.], Differential roles of MDA5 and RIG-I helicases in the recognition of RNA viruses, *Nature*, 2006, Vol. 441, No. 7089, pp. 101–105, DOI: 10.1038/nature04734.
11. Davicino R.C., Elizabe R.J., Di Genaro M.S., Rabinovich G.A., Coupling pathogen recognition to innate immunity through glycan-dependent mechanisms, *International immunopharmacology*, 2011, Vol. 11, No. 10, pp. 1457–1463, DOI: 10.1016/j.intimp.2011.05.002.
12. Bonizzi G., Karin M., The two NF- κ B activation pathways and their role in innate and adaptive immunity, *Trends in immunology*, 2004, Vol. 25, No. 6, pp. 280–288, DOI: 10.1016/j.it.2004.03.008.
13. Martinon F., Burns K., Tschopp J., The inflammasome: a molecular platform triggering activation of inflammatory caspases and processing of proIL- β , *Molecular cell*, 2002, Vol. 10, No. 2, pp. 417–426, DOI: 10.1016/s1097-2765(02)00599-3.
14. Miao E.A., Alpuche-Aranda C.M., Dors M. [et al.], Cytoplasmic flagellin activates caspase-1 and secretion of interleukin 1 β via Ipaf, *Nature immunology*, 2006, Vol. 7, No. 6, pp. 569–575, DOI: 10.1038/ni1344.
15. Matzinger P., The danger model: a renewed sense of self, *Science (New York, N.Y.)*, 2002, Vol. 296, No. 5566, pp. 301–305, DOI: 10.1126/science.1071059.
16. Ogura Y., Inohara N., Benito A., Chen F.F., Yamaoka S., Nunez G., Nod2, a Nod1/Apaf-1 family member that is restricted to monocytes and activates NF- κ B, *Journal of Biological Chemistry*, 2001, Vol. 276, No. 7, pp. 4812–4818, DOI: 10.1074/jbc.M008072200.
17. Girardin S.E., Boneca I.G., Carneiro L.A. [et al.], Nod1 detects a unique muropeptide from gram-negative bacterial peptidoglycan, *Science*, 2003, Vol. 300, No. 5625, pp. 1584–1587, DOI: 10.1126/science.1084677.
18. Magalhaes J.G., Philpott D.J., Nahori M.A. [et al.], Murine Nod1 but not its human orthologue mediates innate immune detection of tracheal cytotoxin, *EMBO reports*, 2005, Vol. 6, No. 12, pp. 1201–1207, DOI: 10.1038/sj.embor.7400552.

19. Girardin S.E., Boneca I.G., Viala J. [et al.], Nod2 is a general sensor of peptidoglycan through muramyl dipeptide (MDP) detection, *Journal of Biological Chemistry*, 2003, Vol. 278, No. 11, pp. 8869–8872, DOI: 10.1074/jbc.C200651200.
20. Tanabe T., Chamaillard M., Ogura Y. [et al.], Regulatory regions and critical residues of NOD2 involved in muramyl dipeptide recognition, *The EMBO journal*, 2004, Vol. 23, No. 7, pp. 1587–1597.
21. Hugot J.P., Chamaillard M., Zouali H. [et al.], Association of NOD2 leucine-rich repeat variants with susceptibility to Crohn's disease, *Nature*, 2001, Vol. 411, No. 6837, pp. 599–603, DOI: 10.1038/35079107.
22. McGovern D.P., Hysi P., Ahmad T. [et al.], Association between a complex insertion/deletion polymorphism in NOD1 (CARD4) and susceptibility to inflammatory bowel disease, *Human molecular genetics*, 2005. – Vol. 14, No. 10, pp. 1245–1250, DOI: 10.1093/hmg/ddi135.
23. Ogura Y., Bonen D.K., Inohara N. [et al.], A frameshift mutation in NOD2 associated with susceptibility to Crohn's disease, *Nature*, 2001, Vol. 411, No. 6837, pp. 603–606, DOI: 10.1038/35079114.
24. Kobayashi K.S., Chamaillard M., Ogura Y. [et al.], Nod2-dependent regulation of innate and adaptive immunity in the intestinal tract, *Science*, 2005, Vol. 307, No. 5710, pp. 731–734, DOI: 10.1126/science.1104911.
25. Eckmann L., Karin M., NOD2 and Crohn's disease: loss or gain of function? *Immunity*, 2005, Vol. 22, No. 6, pp. 661–667, DOI: 10.1016/j.immuni.2005.06.004.
26. Maeda S., Hsu L.C., Liu H. [et al.], Nod2 mutation in Crohn's disease potentiates NF-kappaB activity and IL-1beta processing, *Science*, 2005, Vol. 307, No. 5710, pp. 734–738, DOI: 10.1126/science.1103685.
27. Boyden E.D., Dietrich W.F., Nalp1b controls mouse macrophage susceptibility to anthrax lethal toxin, *Nature genetics*, 2006, Vol. 38, No. 2, pp. 240–244, DOI: 10.1038/ng1724.
28. Scobie H.M., Young J. A.T., Interactions between anthrax toxin receptors and protective antigen, *Current opinion in microbiology*, 2005, Vol. 8, No. 1, pp. 106–112, DOI: 10.1016/j.mib.2004.12.005.
29. Martinon F., Agostini L., Meylan E., Tschopp J., Identification of bacterial muramyl dipeptide as activator of the NALP3/cryopyrin inflammasome, *Current Biology*, 2004, Vol. 14, No. 21, pp. 1929–1934, DOI: 10.1016/j.cub.2004.10.027.
30. Kanneganti T.D., Ozören N., Body-Malapel M. [et al.], Bacterial RNA and small antiviral compounds activate caspase-1 through cryopyrin/Nalp3, *Nature*, 2006, Vol. 440, No. 7081, pp. 233–236, DOI: 10.1038/nature04517.
31. Mariathasan S., Weiss D.S., Newton K. [et al.], Cryopyrin activates the inflammasome in response to toxins and ATP, *Nature*, 2006, Vol. 440, No. 7081, pp. 228–232, DOI: 10.1038/nature04515.
32. Martinon F., Pétrilli V., Mayor A., Tardivel A., Tschopp J., Gout-associated uric acid crystals activate the NALP3 inflammasome, *Nature*, 2006, Vol. 440, No. 7081, pp. 237–241, DOI: 10.1038/nature04516.
33. Sutterwala F.S., Ogura Y., Szczepanik M. [et al.], Critical role for NALP3/CIAS1/Cryopyrin in innate and adaptive immunity through its regulation of caspase-1, *Immunity*, 2006, Vol. 24, No. 3, pp. 317–327, DOI: 10.1016/j.immuni.2006.02.004.
34. Molofsky A.B., Byrne B.G., Whitfield N.N. [et al.], Cytosolic recognition of flagellin by mouse macrophages restricts *Legionella pneumophila* infection, *The Journal of experimental medicine*, 2006, Vol. 203, No. 4, pp. 1093–1104, DOI: 10.1084/jem.20051659.
35. Diez E., Lee S.H., Gauthier S. [et al.], Birc1e is the gene within the Lgn1 locus associated with resistance to *Legionella pneumophila*, *Nature genetics*, 2003, Vol. 33, No. 1, pp. 55–60, DOI: 10.1038/ng1065.
36. Wright Jr E.K., Goodart S.A., Growney J.D. [et al.], Naip5 affects host susceptibility to the intracellular pathogen *Legionella pneumophila*, *Current biology*, 2003, Vol. 13, No. 1, pp. 27–36, DOI: 10.1016/s0960-9822(02)01359-3.
37. Zamboni D.S., Kobayashi K.S., Kohlsdorf T. [et al.], The Birc1e cytosolic pattern-recognition receptor contributes to the detection and control of *Legionella pneumophila* infection, *Nature immunology*, 2006, Vol. 7, No. 3, pp. 318–325, DOI: 10.1038/ni1305.

38. Ren T., Zamboni D.S., Roy C.R., Dietrich W.F., Vance R.E., Flagellin-deficient *Legionella* mutants evade caspase-1-and Naip5-mediated macrophage immunity, *PLoS pathogens*, 2006, Vol. 2, No. 3, pp. e18, DOI: 10.1371/journal.ppat.0020018.
39. O'Riordan M., Portnoy D.A., The host cytosol: front-line or home front? *Trends in microbiology*, 2002, Vol. 10, No. 8, pp. 361–364, DOI: 10.1016/s0966-842x(02)02401-0.
40. Franchi L., Amer A., Body-Malapel M. [et al.] Cytosolic flagellin requires Ipaf for activation of caspase-1 and interleukin 1 β in salmonella-infected macrophages, *Nature immunology*, 2006, Vol. 7, No. 6, pp. 576–582, DOI: 10.1038/ni1346.
41. Sato S., Nieminen J., Seeing strangers or announcing “danger”: galectin-3 in two models of innate immunity, *Glycoconjugate journal*, 2002, Vol. 19, No. 7, pp. 583–591, DOI: 10.1023/B:GLYC.0000014089.17121.cc.
42. Brown G.D., Gordon S., Immune recognition. A new receptor for beta-glucans, *Nature*, 2001, Vol. 413, No. 6851, pp. 36–37, DOI: 10.1038/35092620.
43. Stetson D.B., Medzhitov R., Recognition of cytosolic DNA activates an IRF3-dependent innate immune response, *Immunity*, 2006, Vol. 24, No. 1, pp. 93–103. – DOI: 10.1016/j.immuni.2005.12.003.
44. Mariathasan S., Weiss D.S., Dixit V.M., Monack D.M., Innate immunity against *Francisella tularensis* is dependent on the ASC/caspase-1 axis, *The Journal of experimental medicine*, 2005, Vol. 202, No. 8, pp. 1043–1049, DOI: 10.1084/jem.20050977.
45. Perrin A.J., Jiang X., Birmingham C.L., So N.S., Brumell J.H., Recognition of bacteria in the cytosol of mammalian cells by the ubiquitin system, *Current biology*, 2004, Vol. 14, No. 9, pp. 806–811, DOI: 10.1016/j.cub.2004.04.033.
46. Birmingham C.L., Smith A.C., Bakowski M.A., Yoshimori T., Brumell J.H., Autophagy controls *Salmonella* infection in response to damage to the *Salmonella*-containing vacuole, *Journal of Biological Chemistry*, 2006, Vol. 281, No. 16, pp. 11374–11383, DOI: 10.1074/jbc.M509157200.
47. Nakagawa I., Amano A., Mizushima N. [et al.], Autophagy defends cells against invading group A *Streptococcus*, *Science*, 2004, Vol. 306, No. 5698, pp. 1037–1040, DOI: 10.1126/science.1103966.
48. Singh S.B., Davis A.S., Taylor G.A., Deretic V., Human IRGM induces autophagy to eliminate intracellular mycobacteria, *Science*, 2006, Vol. 313, No. 5792, pp. 1438–1441, DOI: 10.1126/science.1129577.
49. Deretic V., Singh, S., Master S., Harris J., Roberts E., Kyei G., Vergne I., Mycobacterium tuberculosis inhibition of phagolysosome biogenesis and autophagy as a host defence mechanism, *Cellular microbiology*, 2006, Vol. 8, No. 5, pp. 719–727, DOI: 10.1111/j.1462-5822.2006.00705.x.
50. Lara-Tejero M., Sutterwala F.S., Ogura Y. [et al.], Role of the caspase-1 inflammasome in *Salmonella typhimurium* pathogenesis, *The Journal of experimental medicine*, 2006, Vol. 203, No. 6, pp. 1407–1412, DOI: 10.1084/jem.20060206.
51. Novak K., Kalashnikov A.E., Kalashnikova L.A., Geneticheskaya V.L., Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh, 2021, No. 2, pp. 22–37, DOI 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.2.22. (In Russ.)

НАНОЦИСТЕИНАТЫ ЖЕЛЕЗА В РАЦИОНАХ С АКТИВИРОВАННЫМ КОРМОМ ДЛЯ МЯСОЯИЧНЫХ ЦЫПЛЯТ

И.Ю. Клемешова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

З.Н. Алексеева, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

В.А. Реймер, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Е.В. Тарабанова, кандидат биологических наук, доцент

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: klemeshova-inna@mail.ru

Ключевые слова: нанохелаты, цистеинат железа, цыплята, активированный корм, живая масса, среднесуточный прирост.

Реферат. Представлены результаты оценки действия разных размеров наночастиц цистеината железа как альтернативы использованию в рационах сельскохозяйственной птицы неорганического железа для обеспечения минерального баланса. Установлено, что замена неорганической соли $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ наноцистеинатом железа размером 20 и 100 нм в рационах мясояичных цыплят сказывается положительно. Живая масса молодняка в группе с использованием наноцистеината железа с размером частиц 20 нм превосходила контроль на 33,3 %, 100 нм – на 31,6 %. Использование наноцистеината железа с размером частиц 300 нм привело к снижению показателя на 17,5 %. Совместное использование активированного зерна и хелатов увеличивает показатели продуктивности птицы. Так, среднесуточные приросты были выше на 8,6 – 10,7 – 19,5 % соответственно по сравниваемым группам опыта. За 40-дневный период выращивания цыплят на активированном корме средняя живая масса в контроле составляла 552,0 г. Внесение нанохелатов железа обеспечило увеличение показателей в 6-й и 7-й группах на 148 и 156 г соответственно, или на 21,2 и 22,0 %. При этом в 8-й группе наблюдалось отставание цыплят в росте как в сравнении с контролем, так и с группами 6–7, где размеры частиц наноцистеината железа составляли 20 и 100 нм. Роль хелатов железа в формировании среднесуточного прироста на неактивированном и активированном фоне идентична и варьирует в пределах 3,2–3,4 г в группах 2 и 3; 6 и 7. При сравнении аналогичных пар групп, выращиваемых на неактивируемом и активируемом кормах с одинаковым внесением наноцистеината железа, показатели были выше у молодняка птицы, растущего на активированном корме: группы 2 и 6 – на 8,6 %; 3 и 7 – на 10,7 %; 4 и 8 – на 19,5 %.

IRON NANOCYSTEINATES IN DIETS WITH ACTIVATED FEED FOR MEAT-BASED CHICKENS

I.Yu. Klemeshova, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

Z.N. Alekseeva, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

V.A. Reimer, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

E.V. Tarabanova, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: klemeshova-inna@mail.ru

Keywords: nano chelated, iron cysteine, chickens, activated feed, live weight, average daily gain

Abstract. The results of evaluating the effect of different sizes of iron cysteine nanoparticles as an alternative to using inorganic iron in poultry diets to ensure mineral balance are presented. It has been established that replacing the inorganic salt $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ with iron nanocysteinate of 20 and 100 nm in size in the diets of meat-egg chickens has a positive effect. The live weight of young animals in the group using iron nanocysteinate with a particle size of 20 nm exceeded the control by 33.3% and 100 nm by 31.6%. Using iron nanocysteinate with a particle size of 300 nm decreased the indicator by 17.5%. The combined use of activated grain and chelates increases poultry productivity. Thus, the average daily increases were higher by 8.6 – 10.7 – 19.5% for the compared experimental groups. Over the 40 days of raising chickens on activated feed, the average live weight in the control was 552.0 g. The addition of iron nano chelates increased indicators in the 6th and 7th groups by 148 and 156 g, respectively, or by 21.2 and 22.0%. At the same time, in group 8, chickens were stunted in growth compared to the control and

groups 6–7, where the particle sizes of iron nanocysteinate were 20 and 100 nm. Iron chelates' role in forming average daily growth on non-activated and activated backgrounds is identical and varies between 3.2–3.4 g in groups 2 and 3; 6 and 7. When comparing similar pairs of groups raised on non-activated and activated feeds with the same addition of iron nanocysteinate, the indicators were higher in young poultry growing on activated feed: groups 2 and 6 - by 8.6%; 3 and 7 - by 10.7%; 4 and 8 - by 19.5%.

Актуальность настоящей работы связана с поиском средств, снижающих токсикологическую нагрузку ингредиентов химического и микробного синтеза, вводимых в рационы кормления сельскохозяйственной птицы на промышленных предприятиях. Промышленное производство птицепродукции направлено на ускоренное выращивание мясных цыплят-бройлеров – за 40–42 дня и получение свыше 300 яиц в год от одной несушки. Это обязывает производителей использовать любые средства, в том числе и неорганической природы, для балансирования по питательной ценности, минеральному и витаминному составу рационов кормления птицы, а также регулярно применять антибиотики для поддержания гомеостаза популяции. Возникает противоречие между обществом, интерес которого направлен на получение органической продукции, и производителем, преследующим коммерческий интерес. Вопрос может быть решён при замене химических ингредиентов их органическими аналогами.

Любые действия, направленные на поиск альтернативной и эффективной замены веществ неорганической природы при выращивании сельскохозяйственной птицы, представляются оправданными с экологических позиций. Прежде всего, необходимо максимально использовать свойства самих кормов, носителей и питательных, и минеральных, и витаминных веществ, обеспечивающих физиологические потребности животных. С другой стороны, для замены любого ингредиента химической природы на органический необходимо его выявить и оценить действия на объекте назначения.

На сегодня основу рационов в птицеводстве составляет фуражная пшеница, доля которой в структуре рациона более 60 %. Увеличение её переваримости возможно при использовании предварительной подготовки зерна методом активирования. Метод связан с измельчением до размера кормовых частиц 200–400 мкм значительной доли зерна (до 70%). Измельчение увеличивает переваримость питательных веществ [1]. Вопросам увеличения переваримости питательных веществ корма в литературе уделяется много внимания. Наибольшее признание получили такие способы подготовки зерна к скармливанию, как экструдирование и экспандирование [2–4].

В основу такой подготовки зерна к скармливанию положено действие высоких температур (120–150 °C) и высокого давления, в результате чего происходит разрыв клеточных оболочек, что увеличивает площадь контакта пищеварительных ферментов с субстратом. Существенным недостатком указанных способов является разрушение молекулярной структуры незаменимых аминокислот. По данным М. Thormählen [5], биологическая ценность всех незаменимых аминокислот, особенно лизина, снижается на 62 %. Предлагаемое нами активирование зерна с дальнейшим гранулированием не превышает температурного предела 60°C.

Активированию может быть подвергнуто любое зерновое сырьё [6, 7]. В настоящем опыте использовали фуражную пшеницу в рационе кормления молодняка яичной птицы.

Относительно хелатов переходных металлов имеется информация о том, что активно обсуждается вопрос замены неорганических солей жизненно необходимых микроэлементов в рационах сельскохозяйственной птицы их органическими формами, называемыми хелатами [9]. Хелат – это соединение переходного металла с аминокислотой. Преимущество хелата перед химической солью того же элемента состоит в том, что прочная связь металла с аминокислотой препятствует взаимодействию его с другими веществами в желудочно-кишечном тракте птицы, поэтому хелат не является антагонистом для других микроэлементов. Хелаты благодаря аминокислоте легко проникают через кишечную стенку и достигают клеток-потребителей. Инициатором движения за использование в рационах хелатированных форм микроэлементов выступают США, фирма «Оллтек» [10–13].

Биоплексы, поставляемые в Россию, испытывались на цыплятах-бройлерах в качестве альтернативной замены химических солей с положительным эффектом [9, 11]. Идея нашла широкую поддержку в научной среде [14–16].

В настоящих опытах использован наноцистеинат железа, синтезированный в Институте катализа и синтеза СО РАН РФ.

Цель настоящей работы заключалась в оценке влияния наноцистеината железа на фоне рациона из активированного корма на продуктивность мясо-яичных цыплят.

Были поставлены следующие задачи:

– определить влияние разных форм нанодистеината железа на интенсивность роста и сохранность молодняка при введении нанохелатов в рационы кормления;

– оценить совместное действие от активированной зерновой части рациона и введения в него цистеината железа на интенсивность роста и сохранность молодняка.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящих опытах использована активированная пшеница, в которой доля мелкой фракции (200–400 мкм) составляет около 70 %. Цистеин является перспективным лигандом, так как это мощный антиоксидант, предотвра-

щающий повреждение клеточных мембран; он способствует образованию коллагена, связывает тяжёлые металлы, играет важную роль в активации лейкоцитов и лимфоцитов. Для испытаний были представлены три формы нанодистеината железа в виде частиц размером 20 – 100 – 300 нм.

Тест-объектом для испытаний служили суточные мясояичные цыплята Хайсекс Браун (курочки). Каждый цыплёнок был помещён в отдельный отсек клетки, обеспечен индивидуально водой и кормом. Наблюдения продолжались с суточного до 40-дневного возраста по приведённой схеме (табл. 1). Работа выполнялась на птицефабрике «Бердская» Новосибирской области.

Таблица 1

Схема опыта
Experience scheme

Группа	Средняя живая масса на начало опыта, г	Количество голов	Рацион
1-я (контрольная)	35, 7 ± 0,6	10	ОР ₁ – на основе неактивированной пшеницы + 0,025 г/кг FeSO ₄ ·7H ₂ O
2-я опытная	35,3 ± 0,3	10	ОР ₁ + нанодистеинат железа 20 нм 0,0025 г/кг
3-я опытная	36,0 ± 0,5	10	ОР ₁ + нанодистеинат железа 100 нм 0,0025 г/кг
4-я опытная	35,8 ± 0,4	10	ОР ₁ + нанодистеинат железа 300 нм 0,0025 г/кг
5-я опытная	35,4 ± 0,4	10	ОР ₂ – на основе активированной пшеницы + 0,025 г/кг FeSO ₄ ·7H ₂ O
6-я опытная	35,5 ± 0,7	10	ОР ₂ + нанодистеинат железа 20 нм 0,0025 г/кг
7-я опытная	35,7 ± 0,3	10	ОР ₂ + нанодистеинат железа 100 нм 0,0025 г/кг
8-я опытная	35,6 ± 0,5	10	ОР ₂ + нанодистеинат железа 300 нм 0,0025 г/кг

В контроле (1-я и 5-я группы) в кормосмесь внесено сернокислое, закисное, семиводное железо FeSO₄·7H₂O из расчёта 25 г/т согласно нормам потребности птицы. Контроль 1 – обычное дробление пшеницы, контроль 5 – пшеница активированная. В опытных группах FeSO₄·7H₂O заменено нанохелатными формами железа из расчёта снижения дозы в 10 раз, что составило 0,0025 г/кг. Три формы железа представлены размерами частиц 20 – 100 – 300 нм.

По показателям среднесуточных приростов и сохранности цыплят к окончанию эксперимента оценивали действие хелатов железа с разным размером частиц на продуктивность

молодняка и определяли степень влияния активирования с совместным использованием нанодистеината железа. Полученные материалы обработаны с использованием программы М. Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Степень влияния разных форм нанодистеината железа с частицами разных размеров на показатели роста мясо-яичных цыплят показана в табл. 2.

Таблица 2

Влияние разных форм наночистеината железа с частицами разных размеров на интенсивность роста мясояичных цыплят при выращивании на неактивированном корме
The influence of different forms of iron nanocysteinate with particles of different sizes on the growth rate of meat-egg chickens when raised on non-activated feed

Группа	Средняя живая масса, г	Среднесуточный прирост, г	Сохранность, %
1-я	480,0 ± 3,8	12,0 ± 0,3	100
2-я	640,0 ± 6,1 ***	16,0 ± 0,5*	100
3-я	632,0 ± 7,3 ***	15,8 ± 0,6*	100
4-я	396,0 ± 4,8 **	9,9 ± 0,4	100

Примечание. Здесь и далее: *P<0,05; **P<0,01; ***<0,001

Мясояичные цыплята являются медленнорастущим молодняком, показатели среднесуточных приростов находятся в пределах 9,9 – 16,0 г, в зависимости от этого средняя живая масса птицы значительно различалась на момент завершения опыта. Учитывая тот факт, что на начало опыта живая масса цыплят была идентичной (35,3–35,8 г), полученный эффект оказался значителен. При сравнении показателей средней живой массы между контрольной (1) и опытными группами (2–3) разница составила 160 и 152 г (33,3–31,8 %) соответственно.

При этом нанохелатная форма 4-й группы не оказала положительного влияния в сравнении с контролем, более того, отмечено достоверное снижение на 17,5 % средней живой массы в сравнении как с контролем, так и остальными опытными группами. При этом ни в одном из вариантов не наблюдалось гибели цыплят.

Параллельно оценивалось значение кормового фона. В какой степени подготовка зернового средства влияет на эффективность использования хелатов, отражено в табл. 3.

Таблица 3

Влияние разных форм наночистеината железа разного размера на интенсивность роста мясояичных цыплят при выращивании на активированном корме
The influence of different forms of iron nanocysteinate of various sizes on the growth rate of meat-egg chickens when raised on activated feed

Группа	Средняя живая масса, г	Среднесуточный прирост, г	Сохранность, %
5-я	552,0 ± 4,5	13,8 ± 0,7	100
6-я	700,0 ± 9,6 **	17,5 ± 0,9	100
7-я	708,0 ± 7,4 **	17,7 ± 0,9	100
8-я	492,0 ± 4,8*	12,3 ± 0,4	100

За 40-дневный период выращивания цыплят на активированном корме средняя живая масса в контроле составляла 552,0 ± 4,5 г. Внесение нанохелатов железа обеспечило увеличение показателей в 6-й и 7-й группах на 148 и 156 г соответственно, или на 21,2–22,0 %. При этом в 8-й группе наблюдалось отставание цыплят в росте как в сравнении с контролем, так и с группами 6-й и 7-й, где размер частиц на-

ночистеината железа составлял 20 и 100 нм. Разница в отрицательную сторону составила 60 – 208 – 216 г, или 10,9 – 29,7 – 30,5 %.

Таким образом, отмечается факт угнетения роста цыплят от внесения наночистеината железа с размерами 300 нм независимо от подготовки корма.

Поскольку опыт выполнялся при идентичных по всем параметрам условиях, то представ-

лялось целесообразным принять во внимание роль подготовки зернового сырья. Из сравнения среднесуточных приростов цыплят в контрольных группах следует, что эффективность от активирования составляет 13 %.

О положительной роли активирования зернового сырья при выращивании сельскохозяйственной птицы сообщается в работах З.Н. Алексеевой с соавторами [1, 6, 7]. Тонина

помола увеличивает площадь контакта пищеварительных ферментов с кормом, что повышает переваримость питательных веществ корма и, как следствие, возрастает среднесуточный прирост птицы. Определив по разности среднесуточных приростов между контрольными группами долю влияния активирования (13 %), можно предположить, что остальные 87 % приходятся на эффект действия нанохелатов (рис. 1).

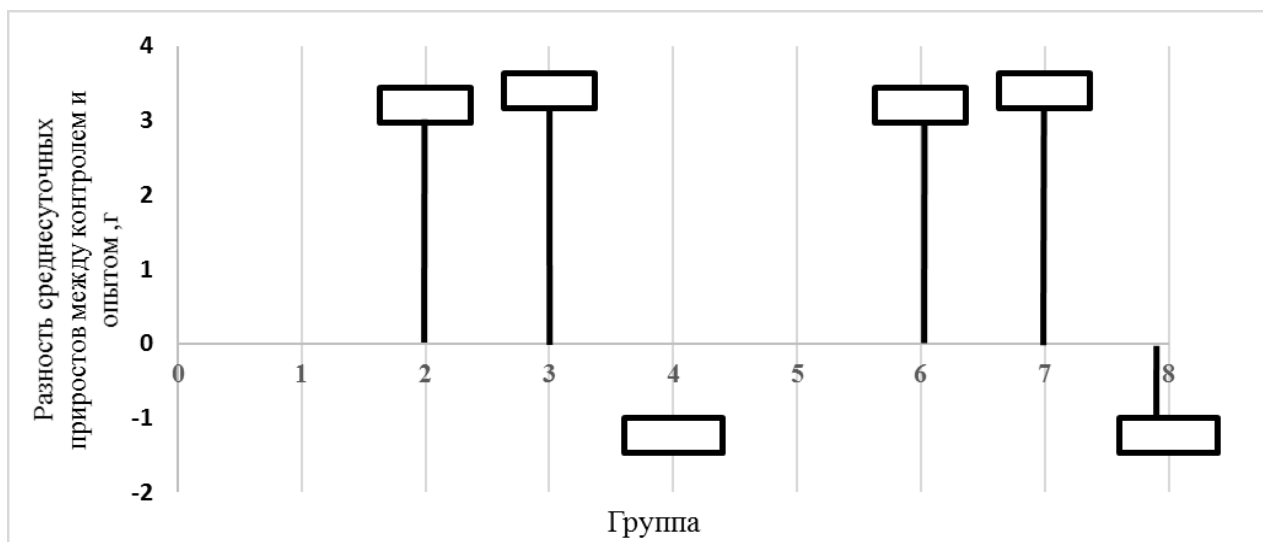


Рис. 1. Влияние нанохелатов железа на величину среднесуточного прироста живой массы мясояичных цыплят (за минусом 13 %)

The influence of iron nano chelates on the average daily increase in live weight of meat-egg chickens (minus 13%)

Роль хелатов железа в формировании среднесуточного прироста на неактивированном и активированном фоне идентична и варьирует в пределах 3,2–3,4 г в группах 2-й и 3-й; 6-й и 7-й. При этом минус 1,23 г в сравнении с контрольными группами отмечается в группах 4-й и 8-й.

Наиболее наглядно совместное действие кормового фона и наноцистеината железа с частицами разных размеров можно выразить графически на основе данных интенсивности роста цыплят (рис. 2).

На основании показателей среднесуточных приростов цыплят параллельных групп оценивали совместное действие кормового фона и внесённых нанохелатов железа с частицами разных размеров. Так, сравнение аналогичных пар групп, выращиваемых на неактивируемом и активируемом кормах с одинаковым внесением наноцистеината железа, показывает, что

приросты были выше у молодняка птицы, растущего на активированном корме: групп 2-й и 6-й – на 8,6 %; 3-й и 7-й – на 10,7 %; 4-й и 8-й – на 19,5 %.

Следует отметить, что хелат железа с размерами наночастиц 300 нм как на неактивированных, так и активированных рационах действует угнетающе на интенсивность роста цыплят. Имеются данные, что частицы размером до 300 нм попадают в кровоток и могут быть токсичны, поэтому для каждого вида животных необходимо отрабатывать свои дозы внесения нанохелатов в рационы кормления [14].

Передозировка железа угнетает антиоксидантную систему организма и приводит к усилению перекисного окисления липидов, воздействуя на SH-группы белков, вызывает их денатурацию и инактивирует ферменты [17].

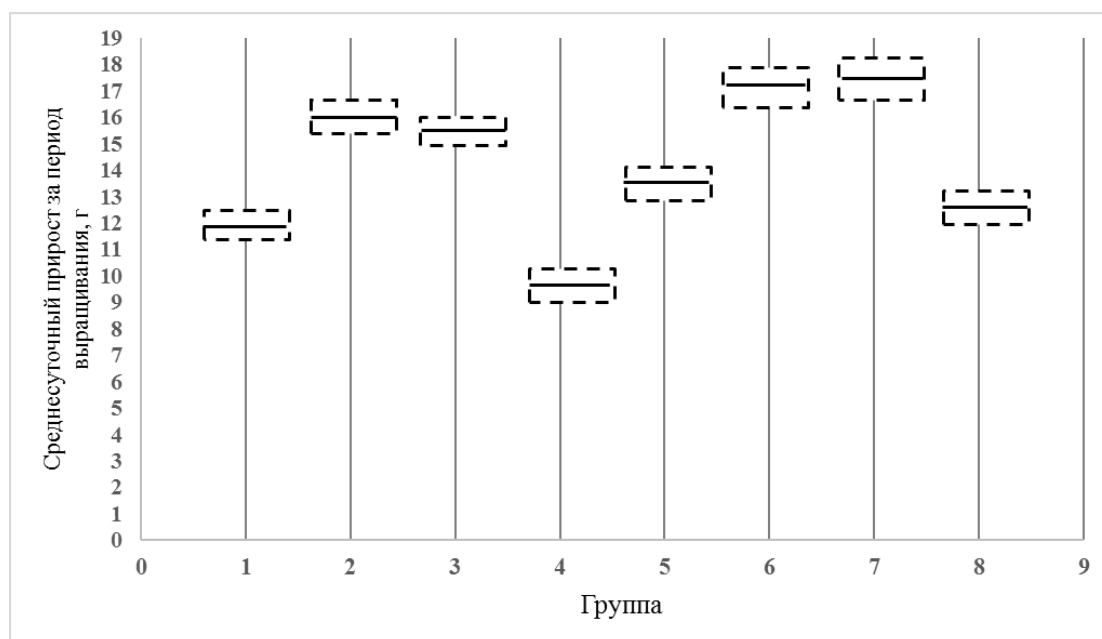


Рис. 2. Среднесуточный прирост мясояичных цыплят в зависимости от сочетания кормового фона и разных размеров частиц наночистеината железа:

_____ среднесуточный прирост,
 - - - - - отклонение от средней

Average daily growth of meat-egg chickens depending on the combination of feed background and different sizes of iron nanocysteinate particles:

_____ average daily increase,
 - - - - - deviation from the average

ВЫВОДЫ

1. Наночистеинаты железа с размерами частиц 20 и 100 нм оказывают стимулирующее воздействие на метаболизм цыплят в период раннего онтогенеза. Увеличение средней живой массы птицы в сравнении с контролем составило в группе с использованием наночистеината железа с размером частиц 20 нм 33,3 %, 100 нм – 31,6 %. Включение в рацион наночистеината железа с размером частиц 300 нм снижает продуктивность на 17,5 %.

2. Подготовка зерновой части рациона путём активирования субстрата до размеров кормовых частиц 200 – 400 мкм усиливает эффективность действия нанохелата железа на 13 %.

3. Совместное использование в кормлении мясояичных цыплят активированного зернового субстрата и 0,0025 г/кг наночистеинатов железа с размерами частиц 20 и 100 нм увеличивает среднесуточные приросты в сравнении с неактивированным зерном на 8,6 – 10,7 – 19,5 % соответственно группам опыта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Активированные корма из отходов зернового производства* / З.Н. Алексеева, В.А. Реймер, А.В. Сивильгаев [и др.]. – Новосибирск: Агро-Сибирь, 2009. – 134 с.
2. *Особенности процесса экспандирования* / Л. Бойко, В. Зоткин, Н. Петров, Н. Чернышев, А. Николаев, А. Грищенко // *Комбикорма*. – 2002. – № 5. – С. 21–22.
3. *Парфенов В.* Влияние параметров гранулирования на эффективность процесса и качество гранул // *Комбикорма*, 2002. – № 5. – С. 19–20.
4. *Разработка ресурсосберегающей технологии рассыпных экспандированных комбикормов* / А.А. Шевцов, В.Н. Василенко, О.Н. Ожерельев, А.А. Петров // *Кормопроизводство*. – 2007. – № 10. – С. 23–25.

5. *Thormählen M.* Veränberungen der Beseurkohlehy drate bei verschidenen konsercierungs ver-
fahren von körnemais // *Ubers Terenähr.* – 1979. – Vol. 7. – P. 176–179.
6. Активированные корма из отходов зернового производства / З.Н. Алексеева, В.А. Реймер,
И.Ю. Клемешова, Л.А. Чупина // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки.* – 2007.
– № 10. – С. 50–53.
7. Замена зерна активированным кормом / З. Алексеева, В. Реймер, И. Клемешова, Д. Алексеев
// *Животноводство России.* – 2008. – № 10. – С. 35–36.
8. Производство активированных кормов из зерновых отходов / З. Алексеева, В. Реймер, И.
Клемешова, Д. Алексеев // *Комбикорма.* – 2008. – № 8. – С. 50.
9. Органические формы микроэлементов в кормлении сельскохозяйственной птицы: метод.
Рекомендации / под общ. ред. В.И. Фисинина. – Сергиев Посад, 2010. – 43 с.
10. Минеральные хелаты содействуют обеспечению биологической ценности / Д. Ричардс,
М.К. Мананги, Д.Дж. Дабнер, С. Картер // *Животноводство России.* – 2011. – № 8. – С. 10–
12.
11. Егоров И., Андрианова Е., Воронин С. L-аспаргинаты микроэлементов в комбикормах для
кур-несушек // *Птицеводство.* – 2013. – № 10. – С. 7–9.
12. Паркер Д. Положительное влияние микроэлементов, хелатированных метионин-
гидроксианалогом, на здоровье и продуктивность несушек // *Птицеводство.* – 2013. – № 6.
– С. 24–26.
13. Бурдоне А. Хелаты микроэлементов: успешный откорм и переработка // *Животноводство
России.* – 2015. – № 7. – С. 38–40.
14. *Misbahov I.I.* Physiological mechanisms of antianemic and antioxidant activity of chelated com-
pounds of biogenic metals: Doctoral dissertation. – Kazan, 2010.
15. Влияние металлохелатов на биохимические показатели крови животных И.И. Мисбахов,
Н.Д. Клинцева, Т.Р. Гайсина, Г.П. Логинов // *Ученые записки Казанской государственной
академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана,* 2010. – № 4 (203). – С. 162–166.
16. Impact chelated metals proteinate on histological structure of the internal organs of pigs / V.P. Na-
deeva, T.A. Fedorina, M.G. Chaban, R. V. Nekrasov // *Agricultural science and education at the
present stage of development: experience, problems and ways to solve them: materials of the V-th
international scientific and practical conference.* June 11, 2013. – Ulyanovsk: UGCHA im. P. A.
Stolypin, 2013.
17. *Mineralstoffe, Vitamine, Ergotropika* / A. Hening, M. Anke, H. Bocker [et al.]. – Berlin, VEB
deutscher Landwirtschaftsvoring, 1972. – 363 p.

REFERENCES

1. Alekseyeva Z.N., Reymer V.A., Sivil'gayev A.V. [i dr.], Aktivirovannyye korma iz otkhodov zer-
novogo proizvodstva (Activated feed from grain production waste), Novosibirsk: Agro-Sibir,
2009, 134 p.
2. Boyko L., Zotkin V., Petrov N., Chernyshev N., Nikolayev A., Grishchenko A., Kombikorma,
2002, No. 5, pp. 21–22. (In Russ.)
3. Parfenov V., Kombikorma, 2002, No. 5, pp. 19–20. (In Russ.)
4. Shevtsov A.A., Vasilenko V.N., Ozherel'yev O.N., Petrov A.A., Kormoproizvodstvo, 2007, No.
10, pp. 23–25. (In Russ.)
5. Thormählen M., Veränberungen der Beseurkohlehy drate bei verschidenen konsercierungs ver-
fahren von körnemais, Ubers Terenähr, 1979, Vol. 7, pp. 176–179.
6. Alekseyeva Z.N., Reymer V.A., Klemeshova I.YU., Chupina L.A., Sibirskiy vestnik
sel'skokhozyaystvennoy nauki, 2007, No. 10, pp. 50–53. (In Russ.)
7. Alekseyeva Z., Reymer V., Klemeshova I., Alekseyev D., Zhivotnovodstvo Rossii, 2008, No. 10,
pp. 35–36. (In Russ.)
8. Alekseyeva Z.N., Reymer V., Klemeshova I., Alekseyev D., Kombikorma, 2008, No. 8, p. 50. (In
Russ.)

9. Organicheskiye formy mikroelementov v kormlenii sel'skokhozyaystvennoy ptitsy (Organic forms of trace elements in the feeding of poultry), Pod obshch. redaktsiyey V.I. Fisina, Sergeyev Posad, 2010, 43 p.
10. Richards D., Manangi M.K., Dabner D.Dzh., Karter S., Zhivotnovodstvo Rossii, 2011, No. 8, pp. 10–12. (In Russ.)
11. Yegorov I., Andrianova Ye., Voronin S., Ptitsevodstvo, 2013, No. 10, pp. 7–9. (In Russ.)
12. Parker D., Ptitsevodstvo, 2013, No. 6, pp. 24–26. (In Russ.)
13. Burdone A., Zhivotnovodstvo Rossii, 2015, No. 7, pp. 38–40. (In Russ.)
14. Misbahov I.I., Physiological mechanisms of antianemic and antioxidant activity of chelated compounds of biogenic metals, Doctoral dissertation, Kazan, 2010.
15. Misbahov I.I., Klintsova N.D., Gaysina T.R., Loginov G.P., Uchonje zapiski Kazanskoy Gosudarstvennoy Akademii of Veterinarnoy Meditsiny im. N.A. Baumana, 2010, No. 4 (203), pp. 162–166. (In Russ.)
16. Nadeeva V.P., Fedorina T.A., Chaban M.G., Nekrasov R.V., Impact chelated metals proteinate on histological structure of the internal organs of pigs, Agricultural science and education at the present stage of development: experience, problems and ways to solve them: materials of the V-th international scientific and practical conference. June 11, 2013, Ulyanovsk: UGCHA im. P. A. Stolypin, 2013.
17. Hening A., Anke M., Bocker H. [et al.], Mineralstoffe, Vitamine, Ergotropika, Berlin, VEB deutscher Landwirtschaftsvoring, 1972, 363 p.

ВЛИЯНИЕ МУТАЦИЙ В ГЕНЕ FGF-5 НА ПОКАЗАТЕЛИ ШЕРСТИ У ОВЕЦ (ОБЗОР)

Е.А. Климанова, аспирант

Д.А. Александрова, аспирант

О.И. Себежко, кандидат биологических наук, доцент

С.Г. Куликова, доктор биологических наук

В.В. Гарт, доктор сельскохозяйственных наук

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: kateri2403@mail.ru

Ключевые слова: факторы роста фибробластов, FGF-5, овцы, шерсть, мутации, ген, SNP.

Реферат. Рассмотрено влияние мутаций в гене FGF-5 на показатели шерстной продуктивности овец. Сохранение и рациональное использование генофонда овец является весьма актуальной проблемой развития овцеводства в современных условиях. Именно благодаря широкому распространению методов поиска полногеномных ассоциаций ежегодно пополняется список генов-кандидатов для показателей продуктивности овец. После определения нового гена-кандидата дальнейшая работа направлена на подробное изучение его полиморфизма и поиск мутаций, ассоциированных с экспрессией гена и хозяйственно полезными признаками животных. Перспективным кандидатом для качественных показателей шерсти овец является ген регулятора роста волос FGF-5 (фактор роста фибробластов 5). FGF-5 играет важную роль в регуляции цикла роста волос во время развития волосяных фолликулов млекопитающих, а также в развитии скелетных мышц. Haiyu Zhao et al. провели исследование вариации гена FGF-5 в популяциях овец SG и SGG, согласно которым, в гене FGF-5 было идентифицировано 10 предполагаемых SNP, и только пять из них можно было генотипировать (SNP 1-5). Данные SNP представляют собой интронные мутации, расположенные в первом интроне гена FGF-5 овец. Было выявлено, что частоты гомозиготных диких аллелей в SNP1, SNP2, SNP3 и SNP5 были выше, чем у мутантных аллелей, кроме локуса SNP4. Приведенное исследование свидетельствует о том, что присутствие полиморфизмов в гене FGF-5 может влиять на рост волос у овец, кроме того, рост волос может быть повышен путем изменения экспрессии гена FGF-5.

INFLUENCE OF MUTATIONS IN THE FGF-5 GENE ON WOOL PERFORMANCE IN SHEEP (REVIEW)

E.A. Klimanova, PhD student

D.A. Aleksandrova, PhD student

O.I. Sebezhko, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

S.G. Kulikova, Doctor of Biological Sciences

V.V. Garth, Doctor of Agricultural Sciences

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: kateri2403@mail.ru

Keywords: fibroblast growth factors, FGF-5, sheep, wool, mutations, gene, SNP.

Abstract. The effect of mutations in the FGF-5 gene on the wool productivity of sheep is considered. The conservation and rational use of the sheep gene pool is a very pressing problem for the development of sheep breeding in modern conditions. Thanks to the widespread use of methods for searching for genome-wide associations, the list of candidate genes for sheep productivity indicators is annually replenished. After identifying a new candidate gene, further work is aimed at a detailed study of its polymorphism and the search for mutations associated with gene expression and economically beneficial animal traits. A promising candidate for the quality indicators of sheep's wool is the hair growth regulator gene FGF-5 (fibroblast growth factor 5). FGF-5 plays a vital role in regulating the hair growth cycle during the development of mammalian hair follicles and skeletal muscle development. Haiyu Zhao et al. conducted a study of FGF-5 gene variation in the SG and SGG sheep populations, according to which ten putative SNPs were identified in the FGF-5 gene, and only five of them could be genotyped.

(SNPs 1-5). These SNPs are intronic mutations located in the first intron of the ovine FGF-5 gene. It was found that the frequencies of homozygous wild alleles at SNP1, SNP2, SNP3 and SNP5 were higher than those of the mutant alleles, except at the SNP4 locus. This study suggests that the presence of polymorphisms in the FGF-5 gene may affect hair growth in sheep and that hair growth may be enhanced by altering the expression of the FGF-5 gene.

Овцы (*Ovis aries*) являются преобладающим видом домашних животных [1–5], которые дают не только мясо и молоко, но и шерсть [6, 7]. И если гены, влияющие на показатели плодовитости овец [8–10], молочную продуктивность [11] и мясные характеристики [12], во многом установлены и хорошо изучены, то с показателями шерсти остается еще много вопросов. Шерсть является одним из главных видов продукции овец, и изучение её структуры находится в центре внимания многих исследований. Шерсть – одно из первых на-

туральных волокон, используемых в текстильной промышленности. Шерстяное волокно мягкое и эластичное, а изделия из него имеют ряд преимуществ: натуральные, обладают высокой гигроскопичностью, обеспечивают тепло и комфорт и т.д. (рис. 1). К ключевым характеристикам, влияющим на экономическую ценность шерсти, можно отнести диаметр волокна, плотность, прочность и длину, которые определяются наследственностью и условиями окружающей среды [12].

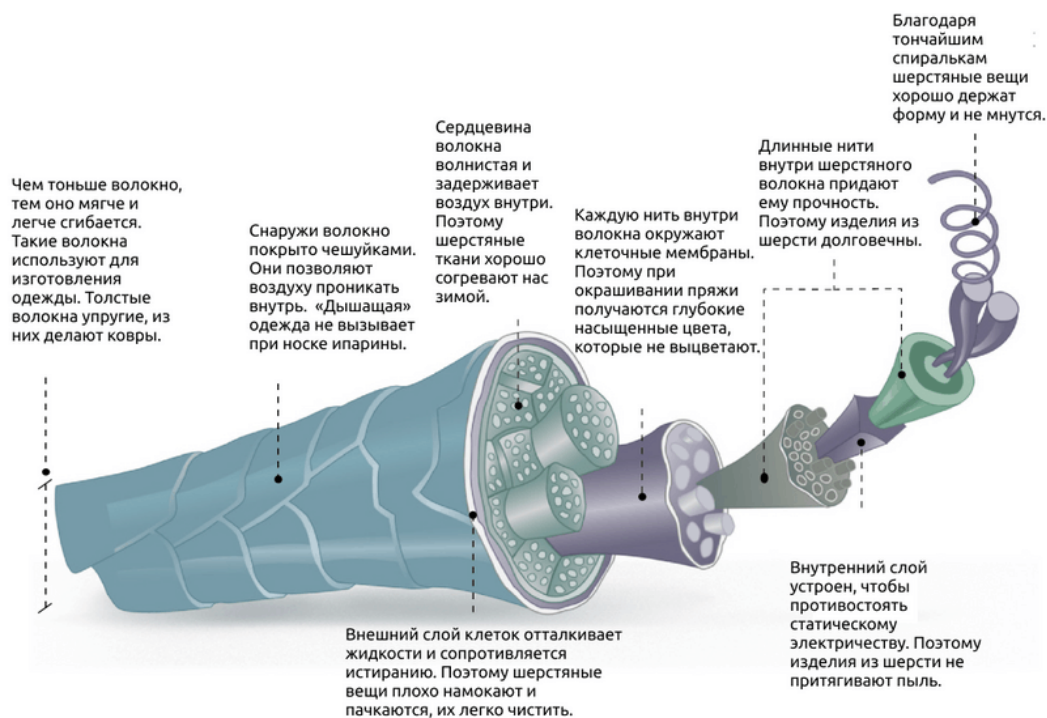


Рис. 1. Строение шерстяного волокна овец [13]

Structure of sheep wool fiber [13]

Понимание генетических принципов, влияющих на показатели шерсти, полезно для развития овцеводства, а также для выяснения механизма развития волос у людей. За последние несколько десятилетий достигнуты успехи в изучении качества шерсти с помощью молекулярно-генетических технологий. Изначально эти исследования в основном были сосредоточены на биологии шерсти и локусах количественных признаков, связанных с экономическими признаками шерсти. Так, были выявлены некоторые основные гены

– KRTAP-6, KRTAP-8, HH1 и др. KRTAP-6 и KRTAP-8, расположенные в хромосоме 1, контролируют диаметр шерсти, а агути является ключевым локусом, влияющим на цвет шерсти. Ген N-типа, также называемый геном halo-hair 1 (HH1), является еще одним важным геном, контролирующим качество шерсти, поскольку мутации в этом гене вызывают чрезмерную опушенность (или медулляцию), что приводит к производству волокон, которые идеально подходят для производства ковровой шерсти [14].

С быстрым развитием молекулярно-биологических методов, особенно секвенирования нового поколения, становится возможным крупномасштабное обнаружение экспрессии генов. Так, используя секвенирование РНК (RNA-Seq), были исследованы профили экспрессии генов кожи, связанных с окраской шерсти у овец; изучены характеристики курчавого флиса с использованием данных транскриптома; выполнено *de novo* секвенирование транскриптома овечьей кожи и установлено,

что диаметр волокон был связан с несколькими генами, дифференциально экспрессируемыми липоевой кислотой и антисмысловыми транскриптами [15].

Как было указано ранее, длина шерсти является одним из важнейших показателей качества шерсти в овцеводстве. Цикл волосных фолликулов у млекопитающих проходит три фазы, включая фазы анагена (роста), катагена (инволюции) и телогена (отдыха) (рис. 2).

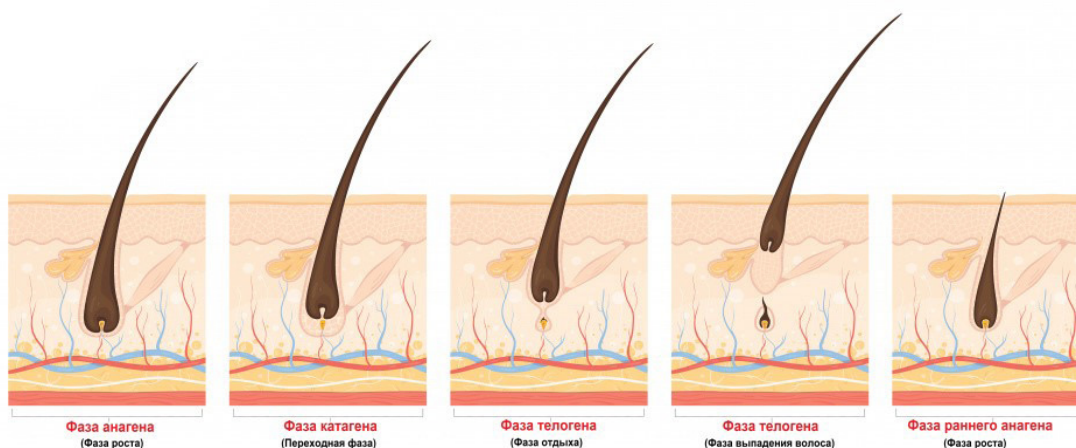


Рис. 2. Фазы роста волосных фолликулов у млекопитающих [16]

Phases of growth of hair follicles in mammals [16]

Волосы состоят из двух частей: неживой ороговевшей ткани, вырастающей из кожи, и живой фолликулярной ткани в коже. В конце своего развития волосы вступают в непрерывный цикл выпадения и регенерации, известный как цикл роста волос [17].

Характеристики шерсти и показатели роста овец – это сложные физиологические и биохимические свойства, на которые влияют наследственность, окружающая среда, питание и т.д. Многие сигнальные пути и связанные с ними факторы участвуют в регуляции этих экономически важных признаков. Среди них факторы роста фибробластов (FGFs) представляют собой семейство факторов, которые играют важную роль в стимулировании и регулировании роста фибробластов. Фактор роста фибробластов 5 (FGF-5) был подтвержден как известный доминирующий ингибитор удлинения шерстяного волокна [18].

Несмотря на большой объем информации по семейству FGFs, включая взаимодействие с рецепторами, экспрессию и т.д., данных по связи мутаций в гене FGF-5 с экономически важными характеристиками (показатели шер-

сти, плодовитость и др.) немного. Поэтому цель исследования – рассмотреть экспрессию фактора роста фибробластов 5 и проанализировать влияние мутаций в гене на показатели шерсти у овец на примере данных, полученных Н. Zhao et al. [10].

Ген регулятора роста волос FGF-5 состоит из трех экзонов, разделенных двумя интронами. FGF-5 относится к семейству факторов роста фибробластов (FGFs). Полноразмерный белок FGF-5 индуцирует переход из фазы анагена в фазу катагена. Несколько вариантов FGF-5 коррелируют с длинношерстным фенотипом у кошек, собак, коз, овец, хомяков, ослов, лам, альпак и людей [19].

FGFs представляют собой полипептидные факторы роста с различной биологической активностью. Большинство FGFs опосредуют свои биологические ответы путем связывания и активации тирозинкиназных рецепторов FGF на клеточной поверхности (FGFRs). Каждый FGFR связывается и активируется уникальным подмножеством FGFRs, специфичность которых в дальнейшем регулируется альтернативным сплайсингом генов, кодирующих FGFRs.

Эти гены и гены, кодирующие FGFRs, были идентифицированы у многоклеточных организмов, начиная от нематоды (*Caenorhabditis elegans*) и заканчивая мышами (*Mus musculus*) и человеком (*Homo sapiens*), но не были идентифицированы у одноклеточных организмов, таких как *Escherichia coli* и *Saccharomyces cerevisiae* [20]. Два гена FGF и один ген FGFR обнаружены у *C. elegans*, тогда как 22 гена FGF и четыре гена FGFR обнаружены у людей и мышей, что указывает на то, что семейства генов FGF и FGFR значительно расширились в ходе эволюции от примитивных метазоа до позвоночных. Благодаря этому сигнальная система FGF приобрела функциональное разнообразие как в процессах развития, так и в физиологических процессах [21].

Первоначально FGF-1 и FGF-2 были выделены в качестве митогенов для фибробластов головного мозга и гипофиза. FGFs широко экспрессируются в развивающихся и взрослых тканях и обладают различной биологической активностью как *in vivo*, так и *in vitro*, включая ангиогенез, митогенез, клеточную дифференцировку, миграцию клеток и восстановление тканей после повреждения. FGFs взаимодействуют с протеогликанами гепарина или гепарансульфата, которые стабилизируют FGFs и предотвращают термическую денатурацию и протеолиз, и необходимы FGFs для эффективной активации FGFRs. Белки, связывающие FGF, повышают

биодоступность FGF и могут способствовать активации рецепторов [22].

FGF включает 22 структурно родственных полипептида, которые являются высококонсервативными у млекопитающих. Белки FGF 1-22 с высокой аффинностью связываются с четырьмя рецепторами FGF (FGFR 1-4). Активация FGFR 1-4 участвует во многих биологических процессах у млекопитающих, включая пролиферацию и дифференцировку клеток во время развития и восстановления тканей. Мутации в генах FGFs или FGFR вызывают нарушения развития и генетические заболевания в различных типах тканей. В многочисленных исследованиях также сообщается о роли FGF в регенерации и восстановлении тканей, что лежит в основе важности передачи сигналов FGF-FGFR в тканевом гомеостазе. Активация специфической передачи сигналов FGF-FGFR и последующая биологическая активность зависят от пространственного и временного паттерна экспрессии каждого лиганда FGF и их рецепторов [23].

FGFs можно разделить на семь подсемейств на основе филогенетического анализа. FGF-5 принадлежит к семейству FGF-4, которое состоит из FGF-4, FGF-5 и FGF-6 (рис. 3). Все члены этого подсемейства представляют собой секретируемые белки с расщепляемыми N-концевыми сигнальными пептидами, которые опосредуют биологические реакции в качестве внеклеточных белков путем связывания и активации FGFR1-4 [24].

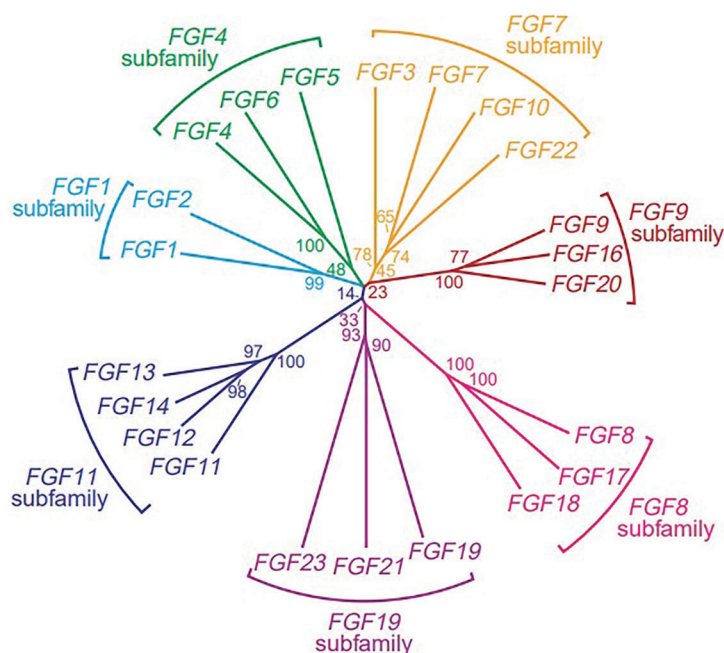


Рис. 3. Эволюционные отношения внутри семейства генов фактора роста фибробластов (на примере человека) [24]

Evolutionary relationships within the fibroblast growth factor gene family (using the example of humans) [24]

В геноме человека идентифицировано 22 гена, кодирующих FGFs. Филогенетический анализ предполагает, что эти гены можно разделить на семь подсемейств, каждое из которых содержит от двух до четырех членов. Длина

ветвей пропорциональна эволюционному расстоянию между каждым геном.

FGF-5, впервые идентифицированный как онкоген человека, экспрессируется в различных тканях, в том числе в мозге, сердце, печени, селезенке, мышцах, рубце и коже (рис. 4).

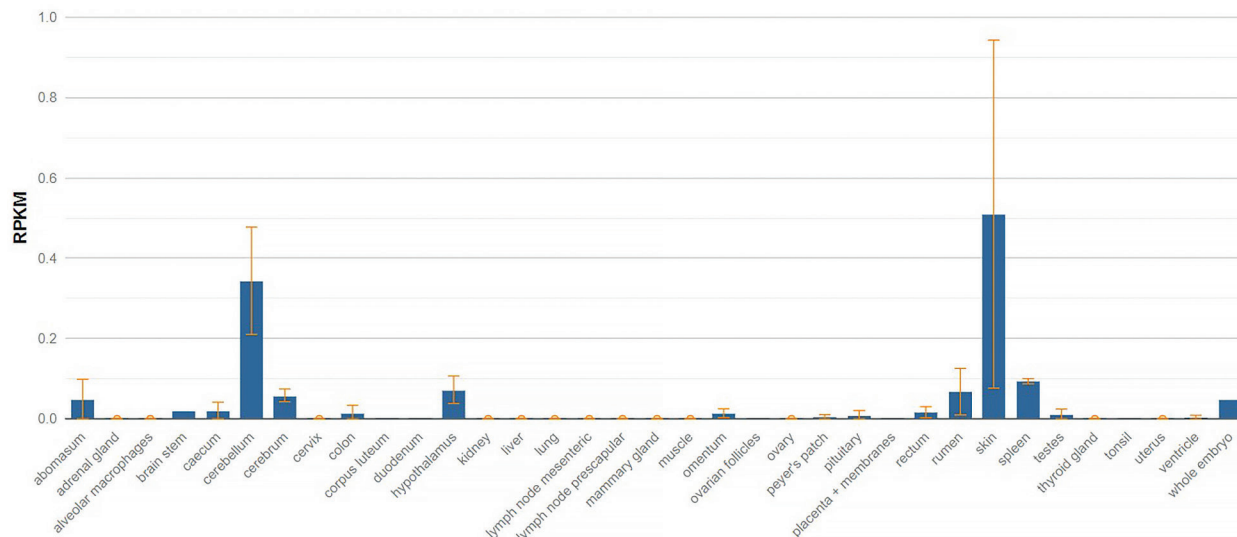


Рис. 4. Экспрессия гена FGF-5 у овец [25]

(по оси X показаны образцы в зависимости от органа; по оси Y – уровень матричной РНК)

Expression of the FGF-5 gene in sheep [25] (the X axis shows samples depending on the organ; the Y axis shows the level of messenger RNA)

У мышей мРНК FGF-5 в высокой степени экспрессируется в волосяных фолликулах в виде двух изоформ, идентифицированных как FGF-5 и FGF-5S, причем последняя обусловлена альтернативным сплайсингом 2-го экзона. Обе изоформы, связываясь с рецептором FGF 1 и 2, регулируют цикл роста волосяного фолликула на стадии анагена: FGF-5 активно ингибирует пролиферацию клеток и синтез волосяных волокон, в то время как FGF-5S противодействует ингибирующим эффектам FGF-5 посредством конкурентного связывания рецепторов FGF. Исследования показали, что ген FGF-5 является важным регулятором длины волос у самых разных млекопитающих, таких как человек, кролик, кошки, собаки, овцы и китообразные [26].

У мышей, нокаутированных по FGF-5, наблюдается аномально длинная шерсть. Этот фенотип идентичен гомозиготным мышам по спонтанной мутации *angora* (*go*) [27]. FGF-5 экспрессируется в скелетных мышцах взрослых крыс, и его экспрессия увеличивается в скелетных мышцах после денервации. Анализ *in vitro* показал, что FGF-5 может способствовать выживанию эмбриональных двигательных нейронов, следовательно, FGF-5 также может быть предложен в качестве мышечного регуля-

тора регенерации двигательных аксонов. Более поздние исследования подтвердили, что белок FGF-5 экспрессируется в терминальных и нетерминальных шванновских клетках [22, 28].

Все эти открытия вызвали большой интерес к роли гена FGF-5 в селекции для улучшения производства шерсти и роста животных. Однако, хотя было установлено, что ген FGF-5 является полиморфным у многих видов, нет никаких причинных мутаций, которые, как было бы установлено, связаны с признаками шерсти, показателями роста и другими характеристиками у овец [28, 29]. Поэтому Н. Zhao et al. [10] провели исследование вариации гена FGF-5 в популяциях овец SG и SGG. Для проведения исследования они взяли образцы крови у 401 овцы SG (южноафриканская овца-меринос (♂) × высокогорная тонкорунная овца Ганьсу (♀)) и 203 овец SGG (южноафриканская овца-меринос (♂) × SG (♀)). Овцы были годовалыми и взрослыми (2–2,5 года).

Согласно результатам секвенирования их ДНК и выравнивания последовательностей, основанного на 604 образцах, в гене FGF-5 было идентифицировано 10 предполагаемых SNP, однако только пять из них можно было генотипировать, а именно SNP1 (105914953 G>A), SNP2 (105922232 T>C), SNP3 (105922244 A>G),

SNP4 (105922334 A>T) и SNP5 (105922340 G>T). Все они представляют собой интронные мутации, расположенные в первом интроне гена FGF-5 овец. На основании критерия χ^2 все пять идентифицированных SNP гена FGF-5 соответствовали равновесию Харди-Вайнберга ($P > 0,05$). Кроме того, пять SNP в гене FGF-5 проявляли умеренный полиморфизм со значениями PIC в диапазоне от 0,302 до 0,374.

Н. Zhao et al. [10] была изучена ассоциация генотипов SNP (1-5) с некоторыми показателями шерстной продуктивности (длина шерсти, диаметр волокна, масса невытой шерсти). Показатель длины шерсти самок группы SG определяли на пяти частях тела – лопатке, боку, бедре, спинке и животе. Кроме того, в их исследовании были рассмотрены и другие параметры, такие как средний диаметр волокна и масса невытой шерсти у овец SG. Не установлено взаимосвязи длины шерсти на лопатке, бедре, боку, спине и диаметра волокон с различными генотипами.

Корреляционный анализ показал, что SNP1 (g.105914953 G>A) достоверно коррелировал с длиной шерсти на брюшке, а у гомозигот по дикому типу наблюдаются лучшие данные по длине шерсти ($P < 0,05$); SNP4 (g.105922334 A>T) был в значительной степени связан с массой невытой шерсти, а животные с генотипом AA имели наилучшую массу невытой шерсти по сравнению с другими носителями ($P < 0,01$). SNP5 (g.105922340 G>T) также коррелировал с длиной шерсти на животе, а гомозиготы по дикому типу (GG) демонстрировали более высокие показатели по длине шерсти по сравнению с гетерозиготными особями (GT) ($P < 0,05$).

Кроме того, у них имелись данные по длине шерсти и диаметру волокна у самцов группы SSG (также по пяти частям тела). Проведенный ими анализ корреляции показал, что как SNP1, так и SNP3 (g.105914953 G>A; g.105922244 A>G) достоверно коррелировали с длиной шерсти на бедрах ($P < 0,05$); SNP2 (g.105922232 T>C) был значительно связан со средним диаметром волокна ($P < 0,05$); SNP4 (g.105922334

A>T) коррелировал с естественной длиной шерсти на спинке, а гетерозиготы AT демонстрировали более высокие показатели длины шерсти по сравнению с другими генотипами ($P < 0,05$).

Таким образом, производственные характеристики шерсти овец оказывают большое влияние на развитие всей овцеводческой отрасли, в связи с чем особенно важно принимать во внимание разведение овец с улучшенной продукцией шерсти. Однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) считаются наиболее предпочтительными ДНК-маркерами в генетической и молекулярной селекции, поскольку они просты в интерпретации и пригодны для методов генотипирования [30–33]. Полиморфизмы могут выступать в качестве маркеров высокой продуктивности животных, устойчивости к заболеваниям, стрессоустойчивости и накоплению тяжелых металлов при получении экологически безопасной продукции и т.д. [34–36]. Стоит также отметить, что на частоту аллелей генетических полиморфных систем могут влиять условия среды и загрязнения [37–39].

ВЫВОДЫ

1. Фактор роста фибробластов 5 играет важную роль в регуляции цикла роста волос во время развития волосяных фолликулов млекопитающих. Исследование полиморфизмов FGF-5 у овец идентифицировали его как ген, связанный с показателями шерсти. Представляет интерес дальнейшее изучение полиморфизмов в гене FGF-5 у сельскохозяйственных животных, в том числе и у овец.

2. Полученные Н. Zhao et al. результаты позволяют предположить, что все эти пять мутаций SNP могут играть важную роль в ассоциации шерсти у овец, а наблюдаемые различия этих локусов SNP у овец SG и SSG могут быть вызваны породной специфичностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Проблемы селекции сельскохозяйственных животных* / Б.Л. Панов, В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст [и др.]. – Новосибирск, 1997. – 283 с.
2. *Патент на изобретение RU 2414124 C2, 20.03.2011. Способ получения высокопродуктивных производителей сельскохозяйственных животных* / В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст, А.И. Желтиков [и др.]. – Заявка №2009122691/10 от 15.06.2009.
3. *Патент на изобретение RU 2270562 C2, 27.02.2006. Способ сохранения редких и исчезающих пород животных* / В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст, А.И. Желтиков. – Заявка № 2004113866/13 от 05.05.2004.

4. Влияние генотипа баранов-производителей на количество фрагментов хромосом в клетках потомства / В.А. Андреева, Ли Венронг, Л. Мингжун [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2019. – № 4 (53). – С. 23–31.
5. Биология, генетика и селекция овцы / А.В. Кушнир, В.И. Глазко, В.А. Петухов [и др.]. – Новосибирск: НГАУ, 2010. – 524 с.
6. The impact of the stud rams of romanov breed genotype on the accumulation of cadmium in the myocardium of their offspring / T.V. Konovalova, V.A. Andreeva, R.T. Saurbaeva [et al.] // Trace Elements and Electrolytes. – 2021. – N 3. – P. 145.
7. Генетическая оценка производителей кулундинской тонкорунной породы овец по качеству потомства / С.И. Сторожук, В.Л. Петухов, В.А. Андреева [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 2 (59). – С. 156–166.
8. Климанова Е.А. Влияние основных генов плодовитости на репродуктивные способности овец // Теория и практика современной аграрной науки: сб. III нац. (всерос.) науч. конференции с междунар. Участием / Новосиб. гос. аграр. ун-т. – 2020. – С. 249–251.
9. Климанова Е.А. Влияние полиморфизмов генов BMP-15 и BMPR-IB на скорость овуляции у овец // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: сб. IV Всерос. (нац.) науч. конф. – 2019. – С. 81–84.
10. Genetic variants and effects on milk traits of the caprine paired-like homeodomain transcription factor 2 (PITX2) gene in dairy goats / H. Zhao, X. Wu, H. Cai [et al.] // Gene. – 2013. – N 532. – P. 203–210. – DOI: 10.1016/j.gene.2013.09.062.
11. Изучение полиморфизма генов миостатина и кальпаstatина у овец приднепровской мясной породы и прекос / И.А. Помитун, Е.А. Бойко, Л.В. Шулика [и др.] // Научно-технический бюллетень Института животноводства Национальной академии аграрных наук Украины. – 2017. – № 118. – С. 148–153.
12. Genetic parameters for wool traits, live weight, and ultrasound carcass traits in Merino sheep / S.I. Mortimer, S. Hatcher, N.M. Fogarty [et al.] // J. Anim. Sci. – 2017. – N 95. – P. 1879–1891. – DOI: 10.2527/jas.2016.1234.
13. Почему овечья шерсть полезна для здоровья [Электронный ресурс] // Вязань [сайт]. – URL: <https://vyazan.webflow.io> (дата обращения: 19.06.2022).
14. Genomic Diversity, Population Structure, and Signature of Selection in Five Chinese Native Sheep Breeds Adapted to Extreme Environments / A. Abied, A. Bagadi, F. Bordbar [et al.] // Genes. – 2020. – N 11 (5). – P. 494. – DOI: 10.3390/genes11050494.
15. A review on SNP and other types of molecular markers and their use in animal genetics / A. Vignal, D. Milan, M. SanCristobal [et al.] // Genet. Sel. Evol. – 2002. – N 34. – P. 275–305. – DOI: 10.1186/1297-9686-34-3-275.
16. Выпадение волос [Электронный ресурс] // INVITRO [сайт]. – URL: <https://www.invitro.ru/library/simptomy/28683/> (дата обращения: 19.06.2022).
17. Mutations within the FGF5 gene are associated with hair length in cats / C. Drögemüller, S. Rüfenacht, B. Wichert [et al.] // Anim. Genet. – 2007. – N 38. – P. 218–221. – DOI: 10.1111/j.1365-2052.2007.01590.x.
18. Review on genomic regions and candidate genes associated with economically important production and reproduction traits in sheep (Ovis aries) / G. Gebreselassie, H. Berihulay, L. Jiang [et al.] // Animals. – 2020. – N 10. – P. 1–12. – DOI: 10.3390/ani10010033.
19. CRISPR/Cas9-mediated loss of FGF5 function increases wool staple length in sheep / W.R. Li, C.X. Liu, X.M. Zhang [et al.] // FEBS J. – 2017. – N 284. – P. 2764–2773. – DOI: 10.1111/febs.14144.
20. Kharitonov A. FGFs and metabolism // Current Opinion in Pharmacology. – 2009. – Vol. 9, N 6. – P. 805–810.
21. Long Y.C., Kharitonov A. Hormone-like fibroblast growth factors and metabolic regulation // Biochimica et Biophysica Acta. – 2011. – Vol. 1812, N 7. – P 791–795. – DOI:10.1016/j.bbadi.2011.04.002.

22. *Fibroblast growth factor/fibroblast growth factor receptor system in angiogenesis* / M. Presta, P. Dell'Era, S. Mitola [et al.] // *Cytokine Growth Factor Rev.* – 2005. – Vol. 16, N 2. – P. 159–178. – DOI:10.1016/j.cytogfr.2005.01.004.
23. *Effect of cysteine-free human fibroblast growth factor-5s mutant (FGF5sC93S) on hair growth* / Y.J. Kim, N. Jung, N. Kim [et al.] // *Dermatol. Ther.* – 2020. – N 33. – P. 14530. – DOI: 10.1111/dth.14530.
24. *Itoh N., Ornitz D.M. Evolution of the Fgf and Fgfr gene families* // *Trends in Genetics.* – 2004. – N 20 (11). – P. 563–569. – DOI:10.1016/j.tig.2004.08.007.
25. *FGF5 fibroblast growth factor 5 Ovis aries* [Электронный ресурс] // National Library of Medicine (sheep) [сайт]. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=FGF-5+sheep> (дата обращения: 19.06.2022).
26. *Research resource: Comprehensive expression atlas of the fibroblast growth factor system in adult mouse* / K. Fon Tacer, A.L. Bookout, X. Ding [et al.] // *Molecular Endocrinology.* – 2010. – Vol. 24, N 10. – P. 2050–2064. – DOI: 10.1210/me.2010-0142.
27. *FGF5 is a crucial regulator of hair length in humans* / C.A. Higgins, L. Petukhova, S. Harel [et al.] // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* – 2014. – N 111. – P. 10648–10653. – DOI: 10.1073/pnas.1402862111.
28. *Rapid communication: Generation of FGF5 knockout sheep via the CRISPR/Cas9 system* / R. Hu, Z.Y. Fan, B.Y. Wang [et al.] // *Journal of Animal Science.* – 2017. – N 95. – P. 2019–2024. – <https://doi.org/10.2527/jas.2017.1503>.
29. *Screening the key genes of hair follicle growth cycle in Inner Mongolian Cashmere goat based on RNA sequencing* / R. Su, G. Gong, L. Zhang [et al.] // *Arch. Anim. Breed.* – 2020. – N 63. – P. 155–164. – DOI: 10.5194/aab-63-155- 2020.
30. *Hattori Y., Yamasaki M., Itoh N. The rat FGF-5 mRNA variant generated by alternative splicing encodes a novel truncated form of FGF-5* // *Biochim. Biophys. Acta.* – 1996. – N 1306. – P. 31–33. – DOI: 10.1016/0167-4781(19)60001-1.
31. *Миссенс-мутации в кодирующей области генов GH и LEP, ассоциированные с признаками роста у овец породы советский меринос* / Л.Н. Скорых, Н.С. Сафонова, Д.А. Ковалев [и др.] // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование.* – 2021. – № 4 (64). – С. 161–170.
32. *Single nucleotide polymorphism in dairy cattle populations of West Siberia* / O.S. Korotkevich, M.P. Lyukhanov, V.L. Petukhov [et al.] // *Proceedings of the 10th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Vancouver, Canada, August 17-22.* – Publishing office: Promega, 2014. – P. 487.
33. *Полиморфизм белков сыворотки крови свиней сибирской северной породы* / Е.В. Камалдинов, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов [и др.] // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук.* – 2010. – № 4. – P. 49–51.
34. *Ассоциация генотипов β-лактоглобулина у овец романовской породы с гематологическими показателями крови* / Е.А. Климанова, З.Т. Поповский, Т.В. Коновалова [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет).* – 2021. – № 4 (61). – С. 126–136.
35. *Ассоциация генотипов β-лактоглобулина с некоторыми биохимическими показателями крови овец романовской породы* / Е.А. Климанова, Т.В. Коновалова, В.А. Андреева [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет).* – 2020. – № 4 (57). – С. 82–87.
36. *Porchu K., Dzabirski V., Popovski Z. DNA microsatellite informativeness, allele frequencies and their distribution in the genome of Macedonian autochthonous sheep populations* // *Journal of Agricultural, Food, and Environmental Sciences.* – 2020. – N 74. – P. 1–10.
37. *Polymorphism of β-lactoglobulin in pramenka sheep breed in Bosnia and Herzegovina* / A. Rustempasic, A. Dokso, E. Zecevic [et al.] // *Journal of Animal and Plant Sciences.* – 2018. – N 28 (1). – P. 337–340.

38. *Ecological and biochemical evaluation of elements contents in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia* / A.I. Syso, M.A. Lebedeva, A.S. Cherevko [et al.] // J. Pharm. Sci. and Res. – 2017. – N. 9 (4). – P. 368–374.
39. *Influence of anthropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the republic of Tyva* / O.I. Sebezhko, V.L. Petukhov, R.B. Chysyma [et al.] // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2017. – N 9. – P. 1530–1535.

REFERENCES

1. Panov B.L., Petukhov V.L., Ernst L.K., Gudilin I.I., Kulikova S.G., Korotkevich O.S., Dementiev V.N., Kochnev N.N., Marenkov V.G., Kochneva M.L., Nezavitin A.G., Smirnov P.N., Kondratov A.F., Zheltikov A.I., Bekenev V.A., Nozdrin G.A. *Problemy selekcii sel'skohozyajstvennykh zhivotnykh* (Problems of breeding farm animals), Novosibirsk, 1997.
2. Ernst L.K., Zheltikov A.I., Korotkevich O.S., Kamaldinov E.V., Fridcher A.A., Ledeneva O.Yu., Zigachev A.I., Petukhova T.V., Aldushinov D.S., Klimenok I.I., Patent na izobretenie RU 2414124 C2, Zayavl. 15.06.2009; opubl. 20.03.2011. (In Russ.)
3. Petukhov V.L., Ernst L.K., Zheltikov A.I., Marenkov V.G., Gart V.V., Kamaldinov E.V., Korotkevich O.S., Chysyma R.B., Zheltikov O.A., Petukhov V.L., Gart E.V., Patent na izobretenie RU 2270562 C2, Zayavl. 05.05.2004; opubl. 27.02.2006. (In Russ.)
4. Andreeva V.A., Venrong Li, Mingzhun L., Saurbaeva R.T., Konovalova T.V., Klimanova E.A., Sebezhko O.I., Nazarenko A.V., Vestnik NGAU, 2019, No. 4 (53), pp. 23–31. (In Russ.)
5. Kushnir A.V., Glazko V.I., Petukhov V.A., Dimov G., Storozhok S.I., *Biologiya, genetika i selekciya ovtsy* (Biology, genetics and sheep breeding), Novosibirsk: NGAU, 2010, 524 p. (In Russ.)
6. Konovalova T.V., Andreeva V.A., Saurbaeva R.T., Korotkevich O.S., Kostomakhin N.M., Klimanova E.A., The impact of the stud rams of romanov breed genotype on the accumulation of cadmium in the myocardium of their offspring, Trace Elements and Electrolytes, 2021, No. 3, pp. 145.
7. Storozhuk S.I., Petukhov V.L., Andreeva V.A., Klimanova E.A., Konovalova T.V., Tarasenko E.I., Vestnik NGAU, 2021, No. 2 (59), pp. 156–166. (In Russ.)
8. Klimanova E.A., *Teoriya i praktika sovremennoj agrarnoj nauki* (Theory and practice of modern agricultural science), Proceedings of the Conference Title, 2020, pp. 249–251. (In Russ.)
9. Klimanova E.A., *Rol' agrarnoj nauki v ustojchivom razvitii sel'skih territorij* (The role of agricultural science in the sustainable development of rural areas), Proceedings of the Conference Title, 2019, pp. 81–84. (In Russ.)
10. Zhao H., Wu X., Cai H., Pan C., Lei C., Chen H., Lan X., Genetic variants and effects on milk traits of the caprine paired-like homeodomain transcription factor 2 (PITX2) gene in dairy goats, Gene, 2013, No. 532, pp. 203–210, DOI: 10.1016/j.gene.2013.09.062.
11. Pomitun I.A., Boyko E.A., Shulika L.V., Korc I.V., Culibaba R.O., Pomitun L.I., Nauchno-tehnicheskij byulleten' Instituta zhivotnovodstva Nacional'noj akademii agrarnykh nauk Ukrainy, 2017, No. 118, pp. 148–153. (In Russ.)
12. Mortimer S.I., Hatcher S., Fogarty N.M., Werf J.H.J., Brown D.J., Swan A.A., Greeff J.C., Refshauge G., Hocking J.E.E., Gaunt G.M., Genetic parameters for wool traits, live weight, and ultrasound carcass traits in Merino sheep, J. Anim. Sci., 2017, No. 95, pp. 1879–1891, DOI: 10.2527/jas.2016.1234.
13. *Pochemu ovech'ya sherst' polezna dlya zdorov'ya* (Why sheep wool is good for health): <https://vyazan.webflow.io> (data obrashcheniya: 19.06.2022). (In Russ.)
14. Abied A., Bagadi A., Bordbar F., Pu Yabin, Augustino S.M.A., Xue X., Xing F., Gebreselassie G., Mwacharo J.L.H.J.M., Ma Y., Zhao Q., Genomic Diversity, Population Structure, and Signature of Selection in Five Chinese Native Sheep Breeds Adapted to Extreme Environments Genes, 2020, No. 11(5), pp. 494, DOI: 10.3390/genes11050494.
15. Vignal A., Milan D., SanCristobal M., Eggen A., A review on SNP and other types of molecular markers and their use in animal genetics, Genet. Sel. Evol., 2002, No. 34, pp. 275–305, DOI: 10.1186/1297-9686-34-3-275.

16. Vypadenie volos (Hair loss): <https://www.invitro.ru/library/simptomy/28683/> (data obrashcheniya: 19.06.2022) (In Russ.)
17. Drögemüller C., Rüfenacht S., Wichert B., Leeb T., Mutations within the FGF5 gene are associated with hair length in cats, *Anim. Genet*, 2007, No. 38, pp. 218–221, DOI: 10.1111/j.1365-2052.2007.01590.x.
18. Gebreselassie G., Berihulay H., Jiang L., Ma Yu., Review on genomic regions and candidate genes associated with economically important production and reproduction traits in sheep (*Ovis aries*), *Animals*, 2020, No. 10, pp. 1–12, DOI: 10.3390/ani10010033.
19. Li W.R., Liu C.X., Zhang X.M., Chen L., Peng X.R., He S.G., Lin J.P., Han B., Wang L.Q., Huang J.C., Liu M.J., CRISPR/Cas9-mediated loss of FGF5 function increases wool staple length in sheep *FEBS J*, 2017, No. 284, pp. 2764–2773, DOI: 10.1111/febs.14144.
20. Kharitonov A., FGFs and metabolism, *Current Opinion in Pharmacology*, 2009, Vol. 9, No. 6, pp. 805–810.
21. Long Y.C., Kharitonov A., Hormone-like fibroblast growth factors and metabolic regulation, *Biochimica et Biophysica Acta*, 2011, Vol. 1812, No. 7, pp. 791–795, DOI: 10.1016/j.bbadis.2011.04.002.
22. Presta M., Dell'Era P., Mitola S., Moroni E., Ronca R., Rusnati M., Fibroblast growth factor/fibroblast growth factor receptor system in angiogenesis, *Cytokine Growth Factor Rev*, 2005, Vol. 16, No. 2, pp. 159–178, DOI: 10.1016/j.cytogfr.2005.01.004.
23. Kim Y.J., Jung N., Kim N., Ha J.C., Park J.H., Han K., Chang M., Lee J., Kim C.-H., Effect of cysteine-free human fibroblast growth factor-5s mutant (FGF5sC93S) on hair growth, *Dermatol. Ther*, 2020, No. 33, pp. 14530, DOI: 10.1111/dth.14530.
24. Itoh N., Ornitz D.M., Evolution of the Fgf and Fgfr gene families, *Trends in Genetics*, 2004, No. 20(11), pp. 563–569, DOI: 10.1016/j.tig.2004.08.007.
25. FGF5 fibroblast growth factor 5 *Ovis aries*, National Library of Medicine (sheep): <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=FGF-5+sheep> (data obrashcheniya: 19.06.2022).
26. Fon Tacer K., Bookout A.L., Ding X., Kurosu H., John G.B., Wang L., Goetz R., Mohammadi M., Kuro-o M., Mangelsdorf D.J., Kliewer S.A., Research resource: Comprehensive expression atlas of the fibroblast growth factor system in adult mouse, *Molecular Endocrinology*, 2010, Vol. 24, No. 10, pp. 2050–2064, DOI: 10.1210/me.2010-0142.
27. Higgins C.A., Petukhova L., Harel S., Ho Y.Y., Drill E., Shapiro L., Wajid M., Christiano A.M., FGF5 is a crucial regulator of hair length in humans, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 2014, No. 111, pp. 10648–10653, DOI: 10.1073/pnas.1402862111.
28. Hu R., Fan Z.Y., Wang B.Y., Deng S.L., Zhang X.S., Zhang J.L., Han H.B., Lian Z.X., Rapid communication: Generation of FGF5 knockout sheep via the CRISPR/Cas9 system, *Journal of Animal Science*, 2017, No. 95, pp. 2019–2024, <https://doi.org/10.2527/jas.2017.1503>.
29. Su R., Gong G., Zhang L., Yan X., Wang F., Zhang L., Qiao X., Li X., Li J., Screening the key genes of hair follicle growth cycle in Inner Mongolian Cashmere goat based on RNA sequencing, *Arch. Anim. Breed*, 2020, No. 63, pp. 155–164, DOI: 10.5194/aab-63-155-2020.
30. Hattori Y., Yamasaki M., Itoh N., The rat FGF-5 mRNA variant generated by alternative splicing encodes a novel truncated form of FGF-5, *Biochim. Biophys. Acta*, 1996, No. 1306, pp. 31–33, DOI: 10.1016/0167-4781(19)60001-1.
31. Skoryh L.N., Safonova N.S., Kovalev D.A., Efimova N.I., *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2021, No. 4 (64), pp. 161–170. (In Russ.)
32. Korotkevich O.S., Lyukhanov M.P., Petukhov V.L., Yudin N.S., Single nucleotide polymorphism in dairy cattle populations of West Siberia *Proceedings of the 10th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Vancouver, Canada, August 17-22. Publishing office: Promega, 2014, p. 487.
33. Kamaldinov E.V., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Zheltikov A.I., Fridcher A.A., *Doklady Rossijskoj akademii sel'skohozyajstvennyh nauk*, 2010, No. 4, pp. 49–51. (In Russ.)
34. Klimanova E.A., Popovskij Z.T., Konovalova T.V., Tarasenko E.I., Korotkevich O.S., Sebezhenko O.I., *Vestnik NGAU*, 2021, No. 4 (61), pp. 126–136. (In Russ.)

35. Klimanova E.A., Konovalova T.V., Andreeva V.A., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Nazarenko J.S., Vestnik NGAU, 2020, No. 4 (57), pp. 82–87. (In Russ.)
36. Porchu K., Dzabirski V., Popovski Z., DNA microsatellite informativeness, allele frequencies and their distribution in the genome of Macedonian autochthonous sheep populations, Journal of Agricultural, Food, and Environmental Sciences, 2020, No. 74, pp. 1–10.
37. Rustempasic A., Dokso A., Zecevic E., Hodzic A., Polymorphism of β -lactoglobulin in pramenka sheep breed in Bosnia and Herzegovina, Journal of Animal and Plant Sciences, 2018, No. 28 (1), pp. 337–340.
38. Syso A.I., Lebedeva M.A., Cherevko A.S., Petukhov V.L., Sebezhko O.I., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N., Kamaldinov E.V., Sokolov V.A., Ecological and biochemical evaluation of elements contents in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia, J. Pharm. Sci. and Res, 2017, No. 9 (4), pp. 368–374.
39. Sebezhko O.I., Petukhov V.L., Chysyma R.B., Kuzmina E.E., Influence of anthropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the republic of Tyva, Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 2017, No. 9, pp. 1530–1535.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ В КОРМЛЕНИИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

О.С. Кошчаева, аспирант

А.А. Рядинская, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

К.В. Лавриненко, преподаватель

И.А. Кошаев, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Белгородский государственный аграрный университет, п. Майский Белгородской обл., Россия

E-mail: olgakoshchaeva@gmail.com

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, растительный экстракт, сохранность, живая масса, конверсия корма.

Реферат. В структуре ценообразования на мясо птицы большую часть составляют комбикорма. Важно максимально удовлетворить физиологические потребности птицы, подобрав оптимальный состав и характеристики корма, что, в свою очередь, напрямую зависит от качества его компонентов. В связи с этим актуальной проблемой является использование антиоксидантов для повышения безопасности кормов и оптимизации обмена веществ в организме птицы. Кормовые добавки из растений с высоким их содержанием в рационе позволяют повысить эффективность выращивания птицы без ухудшения качества продукции. В связи с перспективой увеличения экспорта мяса птицы отечественного производства все более актуальным становится получение экологически чистой продукции с минимальным применением ветеринарных препаратов и кормовых добавок на химической основе. Использование природных антиоксидантов — еще один шаг к достижению этой цели. В данной статье отражен вопрос использования в кормлении сельскохозяйственной птицы растительных экстрактов, влияние включения различных доз добавок на живую массу, сохранность и эффективность использования комбикорма. Данная работа осуществлялась в три этапа: отработка способа получения кормовой добавки, научно-хозяйственный эксперимент и статистический анализ данных. Первый этап исследований проходил в лабораторных условиях. Методом непрерывной перколяции раствором этилового спирта был получен жидкий экстракт шелухи какао, который затем был подвергнут сушке при низком давлении и температуре 30–35 °С. Вторым этапом исследований являлось проведение научно-хозяйственного опыта на 250 головах цыплят-бройлеров. Проведенный анализ результатов подтвердил эффективность применения растительного экстракта в комбикормах для птицы мясного направления продуктивности.

USE OF NATURAL ANTIOXIDANTS IN FEEDING BROILER CHICKENS

O.S. Koshchaeva, PhD student

A.A. Ryadinskaya, Associate Professor

K.V. Lavrinenko, Lecturer

I.A. Koshaev, Associate Professor

Belgorod State Agrarian University, Maysky village, Belgorod region, Russia

E-mail: olgakoshchaeva@gmail.com

Keywords: broiler chickens, plant extract, safety, live weight, feed conversion.

Abstract. Compounded feed is the most significant part of the pricing structure for poultry meat. It is essential to satisfy the physiological needs of the bird as much as possible by selecting the optimal composition and characteristics of the meal, which, in turn, directly depends on the quality of its components. In this regard, an urgent problem is using antioxidants to improve feed safety and optimise metabolism in the poultry body. Feed additives from plants with a high content of them in the diet can increase the efficiency of poultry rearing without compromising the quality of the product. In connection with the prospect of growing domestically produced poultry meat exports, obtaining environmentally friendly products with minimal use of veterinary drugs and chemical-based feed additives is becoming increasingly essential. The use of natural antioxidants is another step towards achieving this goal. This article reflects on the issue of using plant extracts in feeding poultry, the effect of including various additives on live weight, safety and efficiency of feed use. This work was carried out in three

stages: developing a method for obtaining a feed additive, a scientific and economic experiment and a statistical data analysis. The first stage of research took place in laboratory conditions. A liquid cocoa husk extract was obtained by continuous percolation with an ethyl alcohol solution, which was then dried at low pressure and a temperature of 30–35 °C. The second stage of the research was conducting a scientific and economic experiment on 250 heads of broiler chickens. The analysis of the results confirmed the effectiveness of using the plant extract in feed for poultry meat production.

Кроме генетики и условий содержания, значительное влияние на продуктивность птицы оказывает кормление. Известно, что при длительном хранении корма подвергаются негативному воздействию окружающей среды. Резкие перепады температуры, высокая влажность, прямое воздействие света, воды и металла могут значительно снизить питательную ценность корма и усвоение питательных веществ в организме птицы. Жиры наиболее подвержены катаболическим процессам.

Образование и накопление в кормах первичных продуктов распада липидов (пероксидов и гидропероксидов) не влияет на органолептические, функциональные и технологические свойства кормов, но оказывает токсическое воздействие на организм животных. Дальнейшее окисление липидов с образованием альдегидов и кетонов, которые являются побочными продуктами распада, придает продукту специфический прогорклый запах и вкус, что снижает привлекательность кормов и их потребление.

Переокисление липидов препятствует активности ферментов, изменяет структуру аминокислот, разрушает структуру клеток и ДНК. Организм обычно самостоятельно контролирует активные формы кислорода, но инфекции, паразиты и стресс могут снизить иммунную защиту и вызвать дисбаланс.

Для защиты кормов и организма птицы от перекисного окисления используют антиоксиданты природного или синтетического происхождения [1, 2]. Среди них витамин Е (4 токоферола и 4 токотриенола), каротиноиды (более 600 соединений), флавоноиды (более 8000 соединений), аскорбиновая кислота и биологически активные компоненты, препятствующие процессу окисления жиров.

Принцип действия многих антиоксидантов (ароматических аминов, фенолов, нафтолов и др.) заключается в нейтрализации свободных радикалов путем включения их в свои молекулы. Другие антиоксиданты, такие как диалкилсульфиды, разрушают гидропероксиды и замедляют скорость образования свободных радикалов. В обоих случаях используются сами антиоксиданты, а после потребления продолжается окислительный процесс [3, 4]. Замедлить применение ингибитора за счет увеличения его

концентрации невозможно, так как его высокое содержание вызывает прооксидантный эффект.

Усиление защитного действия антиоксидантов возможно только при одновременном добавлении синергистов, например, лимонной, аскорбиновой, яблочной или винной кислот, аминокислот, полифосфатов, этилендиамин-тетрауксусных кислот [5–7]. Эти соединения снижают содержание антиоксидантов за счет окислительно-восстановительного потенциала или связывают (блокируют) прооксиданты.

Исследования показали, что использование природных источников антиоксидантов – сушеных фрагментов орегано, тимьяна, розмарина и куркумы – может быть более эффективным при кормлении сельскохозяйственной птицы, чем использование синтетического витамина Е. При использовании экстрактов наблюдалось увеличение яйценоскости, вылупляемости, срока хранения и инкубационной массы яиц, повышение интенсивности окраски и массы желтка, снижение коэффициента использования корма [8, 9].

Некоторые природные антиоксиданты защищают липиды от окисления более эффективно, чем их синтетические аналоги [10]. Антиоксиданты растительного происхождения также обладают терапевтическим эффектом, и в связи с этим их популярность растет как среди ветеринаров, так и среди зоотехников [11–14].

Преобладание окислительных процессов в организме является одним из факторов развития кокцидиоза. Аналогичная реакция была обнаружена при искусственном заражении птиц *Eimeria sp.* Таким образом, антиоксиданты (сапонины, дубильные вещества и флавоноиды) могут быть использованы как эффективная и безопасная частичная альтернатива синтетическим кокцидиостатикам. В связи с устойчивостью кокцидий к современным препаратам это направление является перспективным и актуальным для птицеводства.

Таким образом, использование растительных антиоксидантов в чистом виде или в виде эфирных масел позволяет эффективно бороться с проблемой окислительного стресса и кокцидиоза в птицеводстве [15]. Сложность выпуска антиоксидантных препаратов на основе растительных экстрактов заключается в

стандартизации и экстракции биологически активных веществ, а также в выборе оптимальных синергистов [16–18]. В этом отношении кормовые добавки, богатые антиоксидантами, имеют ряд преимуществ перед экстрактами: более низкая стоимость благодаря простой технологии приготовления, широкий спектр активных ингредиентов, включая синергисты, отсутствие риска передозировки [19, 20].

Цель исследования – изучить влияние высушенного экстракта какаоеллы на продуктивные качества цыплят-бройлеров, проанализировать эффективность и целесообразность его использования в рационах сельскохозяйственной птицы.

Механизм защитного действия растительного экстракта на основе какаоеллы от воздействия эндогенных и экзогенных факторов на организм сельскохозяйственной птицы связан с его свойством дезактивировать высокореактивные свободные радикалы кислорода, образующиеся в клетках, и выводить их из организма. Такой же механизм защитного действия связан со связыванием низкомолекулярных форм холестерина, образующихся при нарушении его обмена, например при стрессовых ситуациях.

Включение какаоеллы в рацион цыплят-бройлеров приводит к улучшению их иммунитета, что, в свою очередь, способствует сохранению поголовья, повышению плодовитости и быстрому росту.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами данного исследования являются растительный экстракт и экспериментальное поголовье бройлеров, а предметом исследования – влияние высушенного экстракта какаоеллы на продуктивные качества цыплят-бройлеров. В ходе изучения данного экстракта использовались несколько методов исследований – лабораторное (получение кормовой добавки), научно-хозяйственный эксперимент и статистический анализ данных.

Жидкий экстракт шелухи какао был получен в лабораторных условиях методом непрерывной перколяции раствором этилового спирта. Затем экстракт был подвергнут сушке при низком давлении и температуре 30–35 °С.

Во время научно-хозяйственного эксперимента были изучены основные зоотехнические показатели выращивания птицы, такие как сохранность поголовья бройлеров, динамика набора живой массы и эффективность использования комбикорма, анализ которых показал эффективность применения растительного

экстракта в комбикормах для птицы мясного направления продуктивности.

Данные эксперимента были обработаны по методике Н.А. Плохинского на базе программного пакета Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

У животных, получающих природные растительные экстракты, наблюдается более интенсивная выработка пищеварительных ферментов и рост микроворсинок кишечного эпителия. Антиоксиданты, которые содержатся в экстрактах из растительного сырья, замедляют все химические окислительные реакции в кормах, препятствуют окислению жиров.

В процессе экстракции можно выделить три основных этапа:

1. Пропитка сухого растительного материала разделительным составом. Пропитка осуществляется путем инфильтрации экстрагента в сырье и выщелачивания веществ из сырья. Пропитка растительного сырья экстрагентом осуществляется за счет капиллярных сил. По каналам из кусочков разлагающегося растительного материала они проходят через клетки и внутрь клетки проникают ультрамикropористые экстрагенты. Затем экстрагент заполняет пространство ячейки и вытесняет воздух, что очень важно в процессе экстракции, так как увеличивается площадь контакта с сырьем.

2. Распад компонентов растительной клетки. На этом этапе образуется основной сок. При проникновении экстрагента в материал в ячейке образуется концентрированный раствор веществ, растворимых в экстрагенте. Этот раствор называется корневым соком. Разложение компонентов растительной клетки происходит при взаимодействии поступающего в клетку растворителя со всеми компонентами клеточных мембран и содержимым клетки. В результате этого взаимодействия наиболее растворимые вещества десорбируются и растворяются в экстрагенте, а остальные осаждаются или пептизируются. Наибольшее набухание растительного сырья вызывает вода. Если в качестве экстрагента используется спирт, то степень набухания сырья зависит от концентрации спирта. Чем выше концентрация спирта, тем ниже степень набухания. Это означает, что поры не раскрыты, и процесс извлечения экстракта становится затруднителен.

3. Переход растворенных веществ в экстрагент. Массоперенос – это процесс перехода вещества из одной фазы в другую. При производстве экстрактивных препаратов речь идет о

переносе вещества из растительного сырья в экстрагент. С увеличением концентрации экстрагентов в жидкой фазе увеличивается скорость обратного процесса, поскольку система стремится к динамическому равновесию. В таком случае процесс массообмена останавливается. Таким образом, переход вещества из высококонцентрированной фазы в низкоконцентрированную происходит только при наличии разности концентраций, и эта разность концентраций является основной движущей силой в процессе массообмена.

Все доступные методы извлечения делятся на статические и динамические. В статических методах сырье периодически смешивают с экстрагентом и оставляют на определенный период времени. В динамическом режиме обеспечивается либо постоянная смена экстрагента, либо непрерывное движение экстрагента и растительного сырья.

Простейшими методами экстракции являются статические, старейшим из которых является мацерация. Этот метод применяют при приготовлении экстрактов и настоек, преимуществом которых является простота метода и оборудования. Однако этот метод имеет следующие недостатки:

- а) неполное извлечение активных ингредиентов;
- б) длительность процесса;
- в) чрезмерное содержание клетчатки в экстрактах;
- г) высокая трудоемкость.

При производстве растительных препаратов вместо динамических методов применяют

периодический метод – перколяцию, представляющую собой непрерывный процесс фильтрации, при котором экстрагент фильтруется через слой сырья.

Растительный экстракт в нашем эксперименте был произведен методом перколяции какаоеллы органическими растворителями. Раствор рециркулировали, пока из какао не прекратили экстрагироваться вещества. Далее была произведена отгонка растворителя при пониженном давлении и температуре и последующая сушка на вакуумно-ротационном испарителе.

Высушенный экстракт был включен в рационы бройлеров и проведен научно-хозяйственный эксперимент на пяти группах птицы. В рацион опытных групп птицы на протяжении всего опытного периода был включен растительный экстракт: 1-й группе – 50 г/т, 2-й – 100, 3-й – 150 и 4-й – 200 г/т комбикорма.

В качестве основного рациона птица получала полнорационный комбикорм по нормам ФНЦ ВНИТИП РАН соответственно периодам выращивания.

В течение экспериментального периода (от суточного возраста до 42 дней) проводились ежедневные наблюдения за физиологическим состоянием птицы. Для определения влияния полученного нами экстракта на продуктивность цыплят-бройлеров, на устойчивость организма мы провели оценку сохранности по отдельным периодам выращивания и на протяжении всего испытательного периода (табл. 1).

Таблица 1

Сохранность цыплят-бройлеров, %
Safety of broiler chickens, %

Сутки	Группа				
	контрольная	1-я опытная	2-я опытная	3-я опытная	4-я опытная
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
14	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
28	98,0	98,0	100,0	98,0	100,0
42	96,0	98,0	98,0	98,0	100,0

Сохранность цыплят по 14-е сутки была 100 %-й как в контрольной, так и в опытных группах. На 28-е сутки сохранность в контрольной, 1-й и 3-й опытных группах снизилась на 2,0 %. На конец опытного периода самый низ-

кий показатель зафиксирован в контрольной группе цыплят, не получавших в рационах кормовую добавку, – 96 %, что меньше в сравнении с 1–3-й опытными на 2,0 % и 4-й опытной – на 4 %.

Таблица 2

Живая масса цыплят-бройлеров, кг
Live weight of broiler chickens, kg

Группа	Сутки			
	1	14	28	42
Контрольная	38,62±0,23	500,48±3,50	1604,39±18,04	2888,54±32,52
1-я опытная	38,44±0,18	504,70±4,55	1611,35±19,48	2928,06±30,57
2-я опытная	38,60±0,23	508,76±4,60	1618,80±19,05	2950,37±40,78
3-я опытная	38,56±0,22	509,96±4,14	1633,04±19,36	2970,33±35,36*
4-я опытная	38,44±0,23	506,34±3,52	1634,12±20,25	2964,98±32,37*

*P>0,90.

Анализ динамики роста цыплят показал, что при практически равной живой массе в первые сутки уже на 14-е сутки заметны положительные изменения в опытных группах (табл. 2). Так, на 14-е сутки 1-я опытная группа превысила показатели контроля на 4,22 г (0,84 %), 2-я опытная – на 8,28 г (1,65 %), 3-я опытная – на 9,48 г (1,89 %) и 4-я опытная – на 5,86 г (1,17%). На 28-е сутки подобная тенденция сохранилась: цыплята 1-й опытной груп-

пы показали лучшие результаты в сравнении с контролем на 6,96 г (0,43 %), 2-й опытной – на 14,41 г (0,90 %), 3-й опытной – на 28,65 г (1,79 %), 4-й опытной – на 29,73 г (1,85 %). На конец опытного периода, на 42-е сутки, живая масса цыплят 1–4-й опытных групп превысила показатели контроля на 39,52 г (1,38 %); 61,83 г (2,14 %); 81,79 г (2,83 %) и 76,44 г (2,65 %) соответственно.

Таблица 3

Конверсия корма
Feed conversion

Показатель	Группа				
	контрольная	1-я опытная	2-я опытная	3-я опытная	4-я опытная
1	2	3	4	5	6
<i>I период выращивания (0–14-е сутки)</i>					
Потреблено корма, кг	26,942	27,021	27,102	27,827	27,081
Прирост по группе, кг	23,093	23,313	23,508	23,570	23,395
Коэффициент конверсии корма, кг/кг	1,167	1,159	1,153	1,181	1,158
<i>II период выращивания (15–28-е сутки)</i>					
Потреблено корма, кг	75,419	77,014	77,312	76,898	78,507
Прирост по группе, кг	53,591	53,721	55,502	54,521	56,389
Коэффициент конверсии корма, кг/кг	1,407	1,434	1,393	1,410	1,392

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6
<i>III период выращивания (29–42-е сутки)</i>					
Потреблено корма, кг	145,135	149,791	150,614	151,614	154,524
Прирост по группе, кг	60,035	64,519	63,628	65,527	66,543
Коэффициент конверсии корма, кг/кг	2,418	2,322	2,367	2,314	2,322
<i>За весь период выращивания (0–42-е сутки)</i>					
Потреблено корма, кг	247,496	253,826	255,028	256,339	260,112
Прирост по группе, кг	136,719	141,553	142,638	143,618	146,327
Коэффициент конверсии корма, кг/кг	1,810	1,793	1,788	1,785	1,778
Сравнение с контролем, кг/кг		-0,017	-0,022	-0,025	-0,033

В начальный период выращивания (0–14 суток) цыплятами 1–4-й опытных групп было потреблено большее количество корма в сравнении с контрольной группой соответственно на 0,08 кг (0,29 %); 0,16 кг (0,59 %); 0,89 кг (3,28 %) и 0,14 кг (0,52 %) (табл. 3). Это нашло отражение в показателях прироста, который вырос в опытных группах в сравнении с контрольной соответственно на 0,22 кг (0,95 %); 0,42 кг (1,80 %); 0,48 кг (2,07 %) и 0,30 кг (1,31 %). При этом наблюдалось снижение конверсии корма в сравнении с контролем в 1-й опытной группе – на 0,008 кг/кг, во 2-й – на 0,014, в 4-й – на 0,009, а в 3-й опытной группе показатель вырос на 0,014 кг/кг.

В период интенсивного роста (15–28-е сутки) наблюдалось большее потребление корма цыплятами 1–4-й опытных групп в сравнении с контролем соответственно на 1,60 кг (2,11 %); 1,89 кг (2,51 %); 1,48 кг (1,96 %) и 3,09 кг (4,09 %). Прирост в опытных группах превосходил показатели контроля соответственно на 0,13 кг (0,24 %); 1,91 кг (3,57 %); 0,93 кг (1,73 %); 2,80 кг (5,22 %). Коэффициент конверсии в 1-й и 3-й опытных группах увеличился на 0,027 и 0,003 кг/кг, а во 2-й и 4-й снизился на 0,014 и 0,015 кг/кг.

В период с 29-х по 42-е сутки тенденция к большему потреблению корма в опытных группах сохранилась. Так, цыплята 1-й опытной

группы потребили корма в сравнении с контролем больше на 4,66 кг (3,21 %), 2-й – на 5,48 кг (3,78 %), 3-й – на 6,48 кг (4,46 %), 4-й – на 9,39 кг (6,47 %). Прирост по 1–4-й опытным группам также был лучше в сравнении с контрольной группой соответственно на 4,48 кг (7,47 %); 3,59 кг (5,98 %); 5,49 кг (9,15 %); 6,51 кг (10,84 %). При этом отмечено снижение конверсии в 1–4-й опытных группах по отношению к контролю соответственно на 0,096; 0,051; 0,104 и 0,096 кг/кг.

В целом за опытный период цыплятами 1–4-й опытных групп было съедено в сравнении с контролем большее количество корма соответственно на 6,33 кг (2,56 %); 7,53 кг (3,04 %); 8,84 кг (3,57 %); 12,62 кг (5,10 %). Бóльшее потребление корма положительно отразилось на показателе прироста, который в 1–4-й опытных группах был выше в сравнении с контролем соответственно на 4,81 кг (3,52 %); 5,92 кг (4,33 %); 6,90 кг (5,05 %); 9,61 кг (7,03 %). В сравнении контрольной группой конверсия корма в опытных группах снизилась на 0,017–0,033 кг/кг.

ВЫВОДЫ

1. По результатам исследования установлено, что применение растительного экстракта,

полученного методом перколяции органическими растворителями из какаоеллы повышает продуктивность цыплят-бройлеров;

2. Сохранность поголовья в 1–3-й опытных группах была лучше в сравнении с контрольной на 2,0 %, в 4-й опытной – на 4,0 %.

3. На конец опытного периода, на 42-е сутки, живая масса цыплят опытных групп превысила показатели контроля на 1,38–2,83 %.

4. В целом за опытный период цыплятами опытных групп было съедено в сравнении с контролем большее количество корма на 2,56–5,10 %.

5. Большее потребление корма положительно отразилось на показателе прироста, который в опытных группах был выше в сравнении с контролем на 3,52–7,03 %.

6. В сравнении контрольной группой конверсия корма в опытных группах снизилась на 0,017–0,033 кг/кг.

Работа выполняется при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых – кандидатов наук МК-2474.2022.5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мартынова Е.Г., Корниенко П.П., Литовкина Д.А. Продуктивность, качество мяса и яиц кур-несушек при скормливании Амилоцина // Вызовы и инновационные решения в аграрной науке: материалы XXVI Междунар. науч.-произв. конф., Майский, 25 мая 2022 г., Белгород. гос. аграр. ун-т им. В.Я. Горина, 2022. – Т. 2. – С. 119–120. – EDN: JVECJU.
2. Коцаев И.А., Лавриненко К.В., Рядинская А.А. Влияние органических кислот и их солей на рост петушков-бройлеров кросса "Ross-308" // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 4 (56). – С. 173–180. – DOI: 10.18286/1816-4501-2021-4-173-180. – EDN OBKFKF.
3. Эффективность антиоксидантов в комбикормах поросят и цыплят-бройлеров / В.Р. Каиров, З.А. Караева, Д. Темираева, З.Т. Тиджиев // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2010. – Т. 47, № 2. – С. 60–63. – EDN: FOJMSP.
4. Современные технологические решения промышленного содержания птицы / О.Н. Ястребова, В.А. Сыровицкий, А.Н. Добудько [и др.]. – Белгород: Политерра, 2021. – 268 с. – EDN: DNABNF.
5. Коцаев И.А. Биологическая роль меди в кормлении животных // Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства: материалы I Международ. науч.-практ. конф., Макеевка, 26 апр. 2018 г. – Макеевка: Воронеж. гос. аграр. ун-т им. Императора Петра I, 2018. – Т. 1, С. 96–100. – EDN: XRULWN.
6. Ордина Н.Б. Влияние антиоксидантов на содержание токсичных элементов в мясе цыплят-бройлеров // Проблемы и решения современной аграрной экономики: XXI Междунар. науч.-произв. конф., п. Майский, 23–24 мая 2017 г., – Белгор. гос. аграр. ун-т им. В.Я. Горина, 2017. – С. 35–36. – EDN: YOESJP.
7. Эффективность совместного скормливания сорбента и антиоксиданта в рационе мясной птицы / М.К. Павлиашвили, В.Р. Каиров, В.Х. Темираев [и др.] // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 59-4. – С. 61–70. – DOI: 10.54258/20701047_2022_59_4_61; EDN: QPHUO.
8. Пономарев А.Ф., Рядинская А.А. Нетрадиционная белковая добавка // Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения. Белгород, 25–28 марта 2003 г. – Белгород: Белгород. гос. аграр. ун-т им. В.Я. Горина, 2003. – Т. 1. – С. 225.
9. Various sources of methionine in broiler chicken rations / I. Koshchaev, K. Mezinova, A. Ryadinskaya [et al.] // E3S Web of Conferences : 8, Rostovon-Don, 19–30 Aug 2020. – Rostovon-Don, 2020. – P. 06009.
10. Зюбан А.В., Каледина М.В. Разработка функциональной кормовой добавки для молодняка сельскохозяйственных животных // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК: материалы Междунар. студ. науч. конф.: в 4 т. Майский, 18–19 марта 2020 г. – Белгород. гос. аграр. ун-т им. В.Я. Горина, 2020. – С. 370.
11. Тменов И.Д., Ваниева Б.Б. Рационы с добавкой Гидролактин в сочетании с антиоксидантом Эпофен // Птицеводство. – 2013. – № 6. – С. 16–17. – EDN: RBRLSF.

12. *Изучение корреляции между основными зоотехническими показателями и параметрами используемых в кормах пробиотических культур* / И.А. Кощаев, К.В. Мезинова, Н.Н. Сорокина [и др.] // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. – 2020. – № 4 (18). – С. 123–130.
13. *Влияние скармливания антиоксиданта Окси-Нил драй на некоторые физиологические показатели мясной птицы* / В.Х. Темираев, М.С. Газзаева, А.В. Каиров, М.К. Павлиашвили // Материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. памяти засл. деятеля науки и образования РФ, засл. работника высшей школы России, засл. работника образования РСО-Алания, д-ра с.-х. наук, проф. Кесаева Хетага Естаевича. Владикавказ, 15 нояб. 2022 г. – Владикавказ: Горский госу аграрю ун-т, 2022. – Ч. 1. – С. 246–248. – EDN: MKJN1Y.
14. *Котарев В.И., Иванова Н.Н., Шипилов В.В. Влияние комплекса дополнительного питания «Заслон 2+» на содержание микроэлементов в крови и печени цыплят-бройлеров* // Ветеринария Кубани. – 2021. – № 3. – С. 17–18. – DOI: 10.33861/2071-8020-2021-3-17-18.
15. *Многофакторное влияние условий содержания на продуктивность цыплят-бройлеров* / О.Н. Ястребова, А.Н. Добудько, В.А. Сыровицкий, А.Е. Ястребова. – Белгород: Политерра, 2018. – 63 с.
16. *Disorders of the metabolic status and morphofunctional state of liver and kidneys of chicken* / P. Anipchenko, S. Shabunin, V. Kotarev [et al.] // FASEB Journal. – 2020. – Vol. 34, N S1. – P. 03896. – DOI: 10.1096/fasebj.2020.34.s1.03896.
17. *Identification of cases of pododermatitis in broiler chickens when feeding a probiotic feed additive* / I. Koshchaev, K. Mezinova, A. Ryadinskaya [et al.] // E3S Web of Conferences : 8, Rostovon-Don, 19–30 Aug 2020. – Rostovon-Don, 2020. – P. 06023. – DOI: 10.1051/e3sconf/202021006023.
18. *Эффективность воздействия антиоксиданта на зоотехнические и гематологические показатели и состояние печени бройлеров* / В. И. Фисинин, Р. З. Абдулхаликов, С. Ч. Савхалова, В. В. Малородов // Птицеводство. – 2021. – № 6. – С. 40–45. – DOI: 10.33845/0033-3239-2021-70-6-40-45; EDN: TXTPFZ.
19. *Кощаев И.А., Литвинов Ю.Н., Кощаева О.С. Биологическая эффективность источников фосфора в рационах сельскохозяйственной птицы* // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. – 2018. – № 3 (9). – С. 36–40. – EDN: SAWDIX.
20. *Повышение продуктивности и качества мяса цыплят-бройлеров* / Б.Б. Ваниева, Л.Х. Албегова, А.Б. Каболова, Б.Т. Кулумбекова // Птицеводство. – 2018. – № 7. – С. 35–36. – EDN: YNJUMH.

REFERENCES

1. Martynova, E.G., Kornienko P.P., Litovkina D.A., Vyzovy i innovacionnye reshenija v agrarnoj nauke (Challenges and innovative solutions in agricultural science), Proceedings of the Conference Title, Majskij: Belgorodskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. V.Ja. Gorina, 2022, T. 2, pp. 119–120, EDN: JVECJU. (In Russ.)
2. Koshhaev I.A., Lavrinenko K.V., Rjadinskaja A.A., Vestnik Ul'janovskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii, 2021, No. 4 (56), pp. 173–180, DOI: 10.18286/1816-4501-2021-4-173-180. (In Russ.).
3. Kairov V.R., Karaeva Z.A., Temiraeva D.K., Tidzhiev Z.T., Izvestija Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2010, T. 47, No. 2, pp. 60–63, EDN: FOJMSP. (In Russ.)
4. Jastrebova O.N., Syrovickij V.A., Dobud'ko A.N. [i dr.], Sovremennye tehnologicheskie reshenija promyshlennogo soderzhaniya pticy (Modern technological solutions for industrial poultry keeping), Belgorod: Politerra, 2021, 268 p., EDN: DNABNF.
5. Koshhaev I.A., Prioritetnye vektory razvitiya promyshlennosti i sel'skogo hozjajstva (Biological role of copper in animal feeding // Priority vectors for the development of industry and agriculture), Proceedings of the Conference Title, Makeevka: Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. Imperatora Petra I, 2018, pp. 96–100, EDN: XRULWH. (In Russ.)
6. Ordina N.B., Problemy i reshenija sovremennoj agrarnoj jekonomiki (Problems and solutions of modern agricultural economy), Proceedings of the Conference Title, Majskij: Belgorodskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. V.Ja. Gorina, 2017, T. 2, pp. 35–36, EDN: YOESJP. (In Russ.)

7. Pavliashvili M.K., Kairov V.R., Temiraev V.H. [i dr.], *Izvestija Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2022, T. 59–4, pp. 61–70, DOI: 10.54258/20701047_2022_59_4_61; EDN QI-IHUO. (In Russ.)
8. Ponomarev A.F., Rjadinskaja A.A., *Problemy sel'skhozjajstvennogo proizvodstva na sovremen-nom jetape i puti ih reshenija*, Belgorod: Belgorodskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. V.Ja. Gorina, 2003, T. 1, pp. 225. (In Russ.)
9. Koshchaev I., Mezinova K., Ryadinskaya A. [et al.], Various sources of methionine in broiler chicken rations, *E3S Web of Conferences*: 8, Rostovon-Don, 19–30 Aug 2020 g., Rostovon-Don, 2020, pp. 06009.
10. Zjuban A.V., Kaledina M.V., *Gorinskie chtenija. Innovacionnye reshenija dlja APK (Gorin read-ings. Innovative solutions for agriculture)*, Proceedings of the Conference Title, Majs-kij: Belgorodskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. V.Ja. Gorina, 2020, pp. 370. (In Russ.)
11. Tmenov I.D., Vanieva B.B., *Pticevodstvo*, 2013, No. 6, pp. 16–17, EDN: RBRLSF. (In Russ.)
12. Koshhaev I.A., Mezinova K.V., Sorokina N.N. [i dr.], *Aktual'nye voprosy sel'skhozjajstvennoj biologii*, 2020, No. 4 (18), pp. 123–130. (In Russ.)
13. Temiraev V.H., Gazzueva M.S., Kairov A.V., Pavliashvili M.K., Proceedings of the Conference Title, Vladikavkaz: Gorskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2022, T. 1, pp. 246–248, EDN: MKJNIIY. (In Russ.)
14. Kotarev V.I., Ivanova N.N., Shipilov V.V., *Veterinarija Kubani*, 2021, No. 3, pp. 17–18, DOI: 10.33861/2071-8020-2021-3-17-18. (In Russ.)
15. Jastrebova O.N., Dobud'ko A.N., Syrovickij V.A., Jastrebova A.E., *Mnogofaktornoe vlijanie us-lovij sodержanija na produktivnost' cypljat-brojlerov (Multifactorial influence of housing condi-tions on the productivity of broiler chickens)*, Belgorod: Politeria, 2018, 63 p.
16. Anipchenko P., Shabunin S., Kotarev V. [et al.], Disorders of the metabolic status and morpho-functional state of liver and kidneys of chicken, *FASEB Journal*, 2020, Vol. 34, No. S1, pp. 03896, DOI: 10.1096/fasebj.2020.34.s1.03896.
17. Koshchaev I., Mezinova K., Ryadinskaya A. [et al.], Identification of cases of pododermatitis in broiler chickens when feeding a probiotic feed additive, *E3S Web of Conferences*: 8, Rostovon-Don, 19–30 Aug 2020 g., Rostovon-Don, 2020, pp. 06023, DOI: 10.1051/e3sconf/202021006023.
18. Fisinin V.I., Abdulhalikov R.Z., Savhalova S.Ch., Malorodov V.V., *Pticevodstvo*, 2021, No. 6, pp. 40–45, DOI: 10.33845/0033-3239-2021-70-6-40-45; EDN: TXTPFZ. (In Russ.)
19. Koshhaev I.A., Litvinov Ju.N., Koshhaeva O.S., *Aktual'nye voprosy sel'skhozjajstvennoj bi-ologii*, 2018, No. 3 (9), pp. 36–40, EDN: SAWDIX. (In Russ.)
20. Vanieva B.B., Albegova L.H., Kabolova A.B., Kulumbekova B.T., *Pticevodstvo*, 2018, No. 7, pp. 35–36, EDN: YNJUMH. (In Russ.)

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭНТЕРОГЕПАТИЧЕСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ЖЕЛЧНЫХ КИСЛОТ В КОНТЕКСТЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ПАТОЛОГИЙ ГЕПАТОБИЛИАРНОЙ СИСТЕМЫ

Ю.Е. Кузнецов, доктор ветеринарных наук, доцент

А.М. Лунегов, кандидат ветеринарных наук, доцент

В.С. Понамарёв, кандидат ветеринарных наук

Е.Б. Ромашова

Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: psevdopyos@mail.ru

Ключевые слова: жёлчные кислоты, энтерогапатическая циркуляция, гепатобилиарная система.

Реферат. Энтерогапатическая циркуляция жёлчных кислот представляет собой строго регулируемый процесс секреции данных соединений, кишечной реабсорбции и обратного транспорта в печень. Нарушение этого процесса имеет значительные последствия для гомеостаза желудочно-кишечного тракта, печени и всего организма. Данный процесс жёстко контролируется регуляторными ферментативными реакциями с отрицательной обратной связью, что приводит к поддержанию пула и адекватного гомеостаза жёлчных кислот. Основная цель данной статьи – рассмотреть механизм энтерогапатической циркуляции жёлчных кислот и оценить их роль как в формировании патологий гепатобилиарной системы различного генеза, так и в качестве предиктора подобных процессов. Нами был проведён поиск оригинальных исследований в научных базах PubMed, Elsevier Science (Scopus) и Clarivate Analytics (Web of Science) за последние 20 лет для выявления особенностей протекания вышеописанных процессов, после чего был проведён формализованный контент-анализ найденных публикаций. Теоретически каждый фактор, нарушающий энтерогапатическую циркуляцию, приводит к патологиям гепатобилиарной системы. Тем не менее все еще остается много неизвестных аспектов, когда речь идет о регуляции гомеостаза жёлчных кислот в энтерогапатическом кровообращении. В последние несколько десятилетий считается, что наиболее важными предпосылками возникновения гепатопатий являются гиперсекреция жёлчного холестерина и перенасыщение им желчи. Не менее важной проблемой является изменение пула жёлчных кислот, так как разные его представители различаются как по химической активности, так и механизмом действия (от цитотоксичности до цитопротекции).

ENTEROHEPATIC CIRCULATION OF BILE ACIDS AND ITS ROLE IN PATHOLOGIES OF THE HEPATOBILIARY SYSTEM

Yu.E. Kuznetsov, Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor

A.M. Lunegov, candidate of veterinary sciences, associate professor

V.S. Ponomarev, candidate of veterinary sciences

E.B. Romashova

St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia

E-mail: psevdopyos@mail.ru

Keywords: Bile acids, Enterohepatic circulation, hepatobiliary system

Abstract: Enterohepatic circulation of bile acids is a highly regulated process of secretion of these compounds, intestinal reabsorption and reverse transport to the liver. Violation of this process has significant consequences for the homeostasis of the gastrointestinal tract, liver and the whole organism. This process is tightly controlled by regulatory enzymatic reactions with negative feedback, which leads to the maintenance of a pool and adequate homeostasis of bile acids. The main purpose of this article is to consider the mechanism of enterohepatic circulation of bile acids and evaluate their role both in the formation of pathologies of the hepatobiliary system of various origins, and as a predictor of such processes. We searched for original studies in the scientific databases PubMed, Elsevier Science (Scopus) and Clarivate Analytics (Web of Science) over the past 20 years to identify the features of the above processes, after which a formalized content analysis of the found publications was carried

out. Theoretically, every factor that disrupts the enterohepatic circulation leads to pathologies of the hepatobiliary system. However, there are still many unknown aspects when it comes to the regulation of bile acid homeostasis in the enterohepatic circulation. In the last few decades, it is believed that the most important prerequisites for the occurrence of hepatopathy are hypersecretion of bile cholesterol and supersaturation of bile with it. An equally important problem is the change in the pool of bile acids, since its various representatives differ both in chemical activity and in the mechanism of action (from cytotoxicity to cytoprotection).

Энтерогепатическая циркуляция желчных кислот (портально-билиарная циркуляция) представляет собой обусловленный поддержанием гомеостаза регулируемый процесс секреции данных соединений, их кишечной реабсорбции и обратного транспорта в печень. Различные нарушения данного физиологического процесса приводят к значительным негативным последствиям как для гомеостаза желудочно-кишечного тракта, так и всего организма в целом [1–3].

Данный процесс сопряжён со строгими регуляторно-ферментативными реакциями с негативной обратной связью, что в конечном итоге приводит к поддержанию жёлчечислотных основных доминант (называемых пулом), а также постоянством количественного и качественного состава [4–7].

Основная биологическая роль жёлчных кислот – содействие жёлчной секреции различных липофильных (гидрофобных) химических соединений и дальнейшее возрастание кишечной абсорбции липидов и жирорастворимых витаминов путем образования мицелл, перспективной также является их предикторная функция [8, 9].

В зависимости от корректности протекания процесса энтерогепатической циркуляции жёлчных кислот зачастую может видоизменяться фармакокинетика и фармакодинамика большинства известных лекарственных препаратов [10–12].

Основная цель данной статьи – рассмотреть механизм энтерогепатической циркуляции жёлчных кислот и оценить их роль как в формировании патологий гепатобилиарной системы различного генеза, так и в качестве предиктора подобных процессов [13].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Отбор и анализ научных публикаций был выполнен согласно рекомендациям Х. Снайдер к написанию обзорных статей [14].

На английском и русском языках в различных библиографических базах (Elibrary, Pubmed, Scopus(Elsevier), Web of Science

(Clarivate)) был осуществлён поиск тематических публикаций по ключевым словам «жёлчные кислоты», «энтерогепатическая циркуляция», «портально-билиарная циркуляция», «метаболизм жёлчных кислот» с дальнейшим выделением наиболее цитируемых. Статьи, опубликованные ранее 2015 г., использовались только в случае наличия в них критически важной для раскрытия темы информации, не встречающейся в более поздних публикациях.

В связи с отсутствием публикаций об особенностях энтерогепатической циркуляции желчных кислот по объектам грантового исследования – американским норкам (*Mustela vison* Schreber, 1777) – нами были рассмотрены научные положения по данной теме по другим видам животных (преимущественно млекопитающих), имеющие общебиологическое значение, с возможностью экстраполяции полученных другими авторами данных на целевых животных.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Жёлчные кислоты синтезируются из холестерина одним из двух метаболических путей: классическим (индуцируется цитохромовым ферментом холестерин-7 α -гидроксилазой) либо альтернативным (индуцируется цитохромовым ферментом стерин-27-гидроксилазой), которые приводят к синтезу их несвязанных (неконъюгированных) фракций или первичных жёлчных кислот [15] (рис.1).

Холестерин в организме катаболизируется до жёлчных кислот, в качестве примера показана на рис. 1 одна из первичных кислот (холевая). С целью повышения химической активности первичные жёлчные кислоты конъюгируются амидной связью с таурином или глицином.

В классическом пути холестерин проходит путь биотрансформации посредством множественных гидроксирования, катализируемых каскадом ферментов цитохрома P450 (CYP7A1– холестерин-7 α -гидроксилазой, CYP8B1– стерол-12-альфа-гидроксилазой и CYP27– стерол 27-гидроксилазой, рис. 2). При реализации альтернативного пути процессам гидроксирования предшествует образование

нескольких различных оксистерольных соединений [16–18].

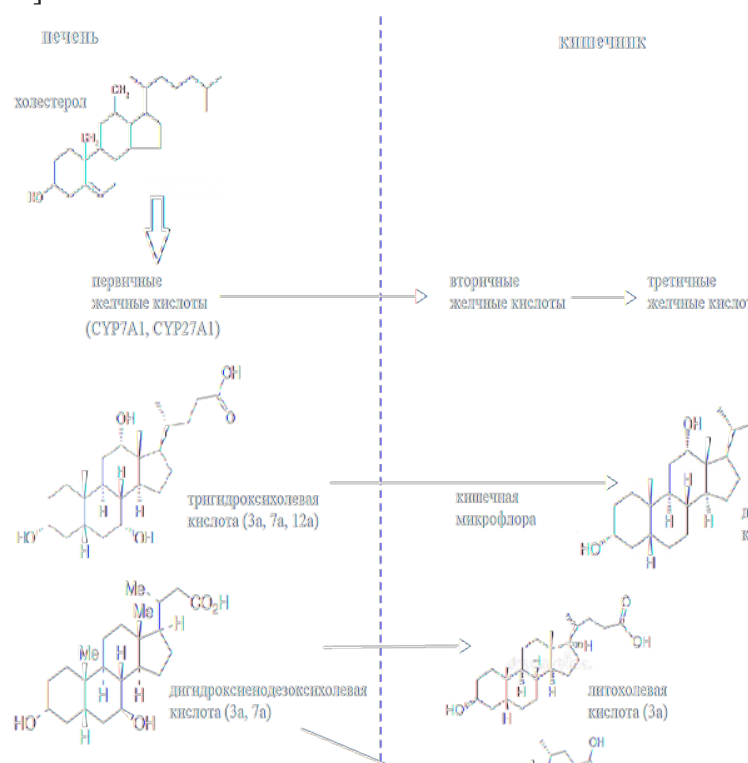


Рис. 1. Схема синтеза жёлчных кислот на примере холевой кислоты

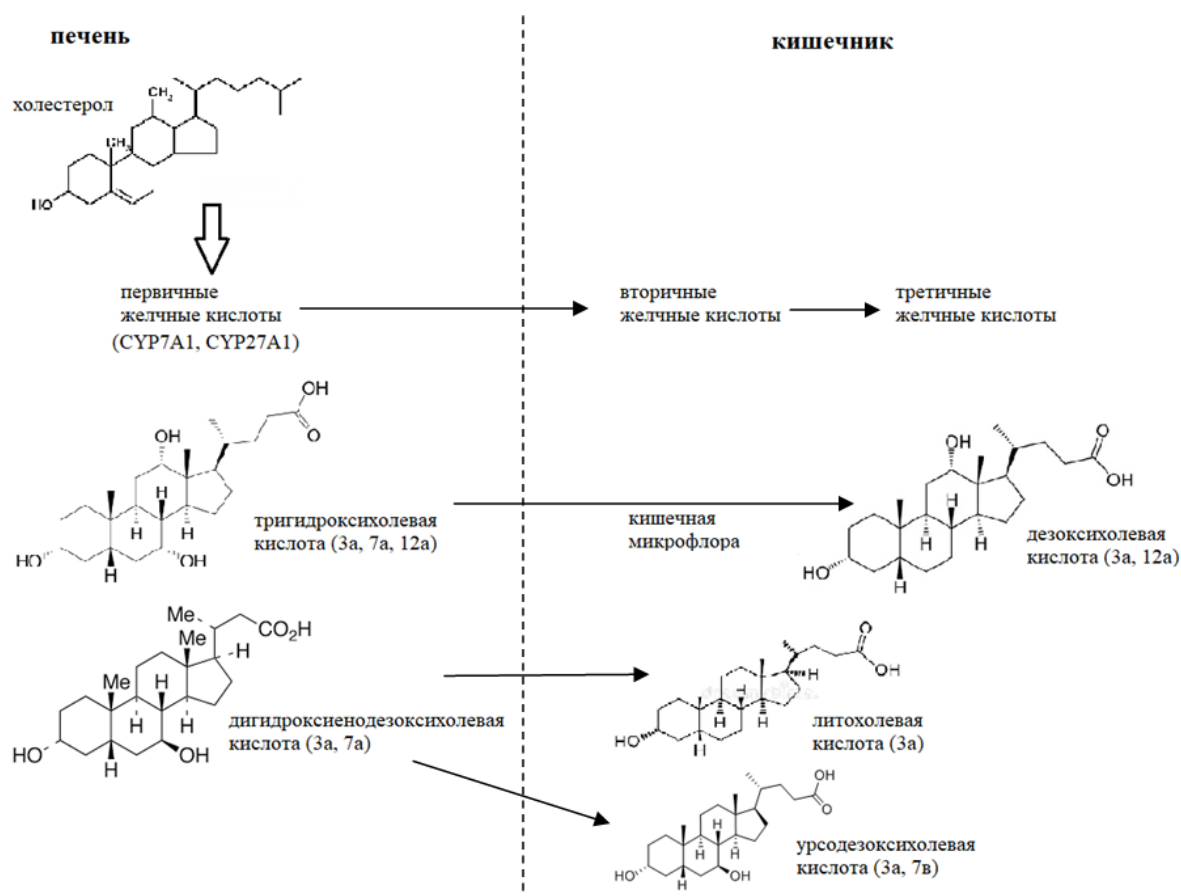


Рис. 2. Схематичное изображение путей синтеза жёлчных кислот

Классический путь синтеза жёлчных кислот инициируется 7 α -гидроксилазой (CYP7A1), которая стимулирует 7 α -гидроксилирование холестерина с синтезом 7 α -гидроксихолестерола. Альтернативный путь инициируется стерин-27-гидроксилазой (CYP27A1), которая продуцирует промежуточный 27-гидроксихолестерол. В тонком и толстом кишечнике происходит бактериальная деконъюгация, дегидрогенизация, 7 α -дегидроксилирование и эпимеризация первичных жёлчных кислот, которые впоследствии становятся вторичными. В дальнейшем, также под действием микрофлоры кишечника, вторичные жёлчные кислоты биотрансформируются до третичных [15].

На канальцевой мембране гепатоцитов высокоспециализированные соединения, называемые транспортерами, опосредуют экскрецию отдельных компонентов жёлчи, таких как жёлчные кислоты, фосфолипиды и холестерин. При гепатоцеллюлярных нарушениях жёлчные кислоты также могут релоцироваться обратно в синусоидальную кровь для индукции гепатопротективных свойств, а затем элиминироваться вместе с естественными выделениями [19–21].

Эпителиальные клетки жёлчных протоков (холангиоциты) являются важными модификаторами желчеобразования (рис. 3), способствуя выведению бикарбонатных солей, а жёлчные протоки действуют подобно дренажной системе, способствуя поступлению жёлчных кислот в кишечник [22, 23].

После того, как гепатоциты секретируют жёлчные кислоты в жёлчный проток, происходит их модификация во время прохождения через жёлчное дерево с вовлечением органических анионных и электролитных транспортных белков, экспрессируемых клетками эпителия жёлчных путей [24–26].

Физиологическая роль поглощения жёлчных кислот холангиоцитами, вероятно, связана с регуляторным влиянием жёлчных солей

на внутриклеточные сигнальные механизмы, включая секрецию холангиоцеллюлярного муцина и бикарбонатных солей [27].

Жёлчные кислоты в основном активно поглощаются в терминальной подвздошной кишке, за исключением относительно небольшой доли пассивного поглощения в проксимальном отделе тонкой кишки и толстой кишке [28, 29].

Заключительным этапом энтерогепатической циркуляции жёлчных солей является извлечение их из плазмы портальной крови гепатоцитами, тогда как гораздо меньшее количество – из печеночной артерии, и они эффективно удаляются во время их первого прохождения через печеночные синусоиды гепатоцеллюлярными системами поглощения [30, 31].

Примерно 95 % жёлчных кислот, распределённых в двенадцатиперстной кишке, реабсорбируются в венозную кровь в подвздошной и ободочной кишке, а затем через брыжеечную вену поступают в воротную вену печени, после чего приближаются к её синусоидам [32].

Гепатоциты повторно метаболизируют жёлчные кислоты из синусоидальной крови, в то время как остаточные количества сохраняются в системном кровотоке. После биотрансформации происходит процесс резекретации в жёлчные протоки. Данный процесс изменения жёлчных кислот проходит по типу деконъюгации и катализируется ферментом – гидролазой жёлчных солей (BSH), синтезируемой некоторыми видами лактобактерий. Гидролазы жёлчных солей являются членами семейства N-концевых нуклеофильных гидролаз, характеризующихся автокаталитической активацией N-концевым нуклеофилом и последующим расщеплением амидной связи [33–35]. По данным Европейского банка информации о белковых соединениях (PDBe) [36], в настоящее время известно 15 различных конфигураций гидролаз жёлчных солей (таблица).

.

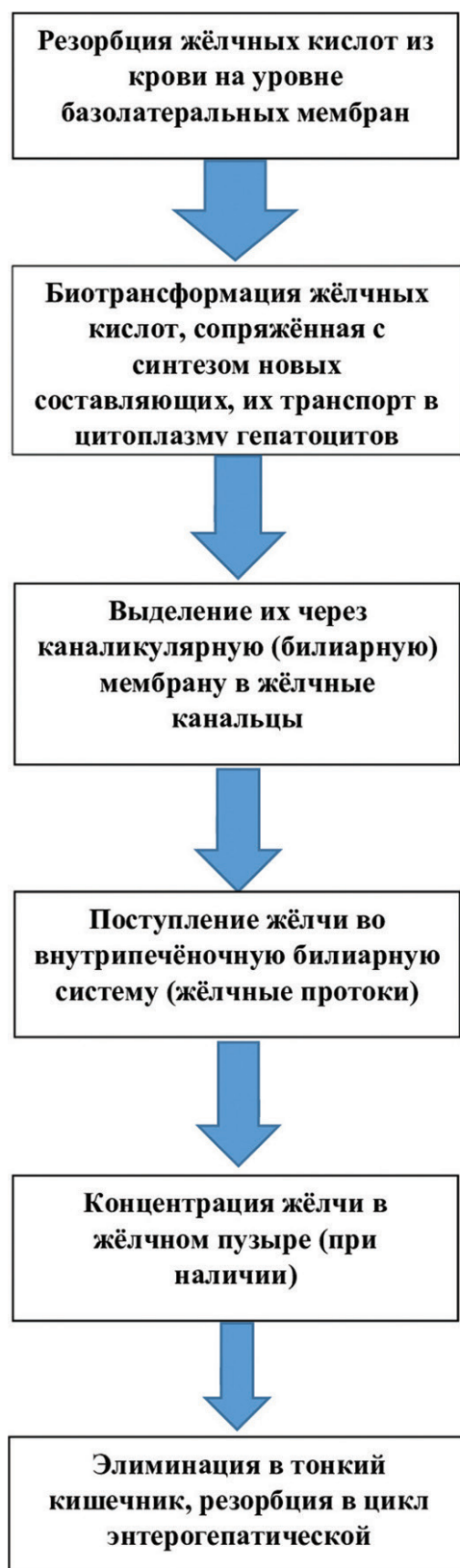
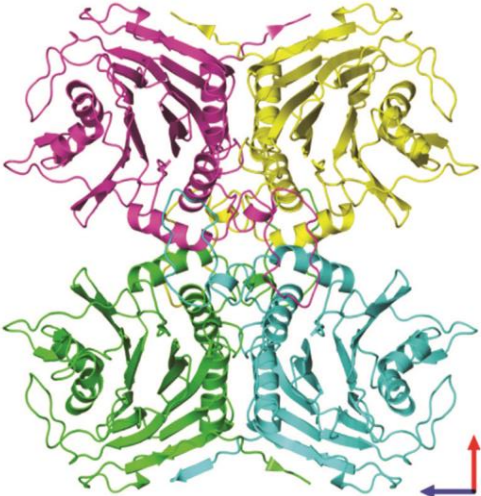
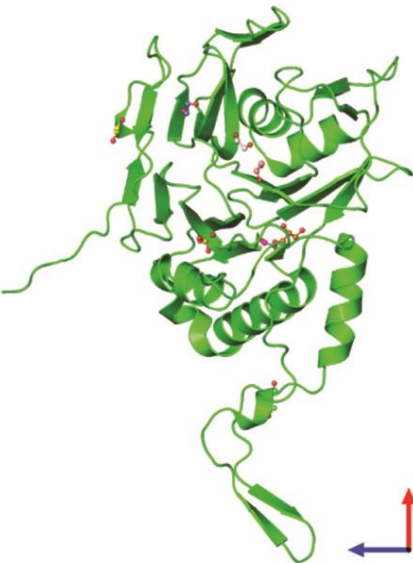


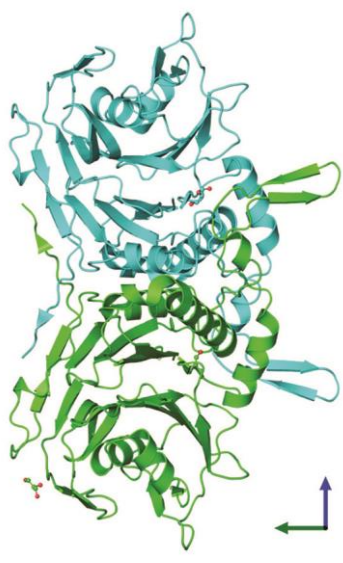

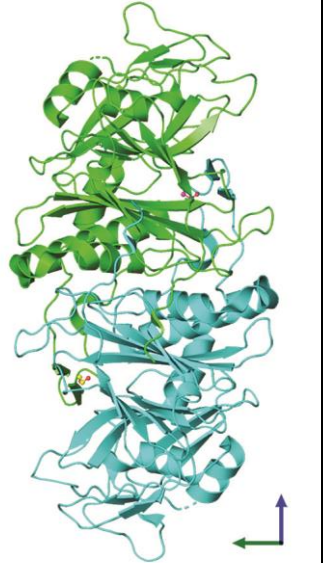
Рис. 3. Основные этапы жёлчеобразования в контексте сохранения гомеостаза энтерогепатической циркуляции

Таблица 1

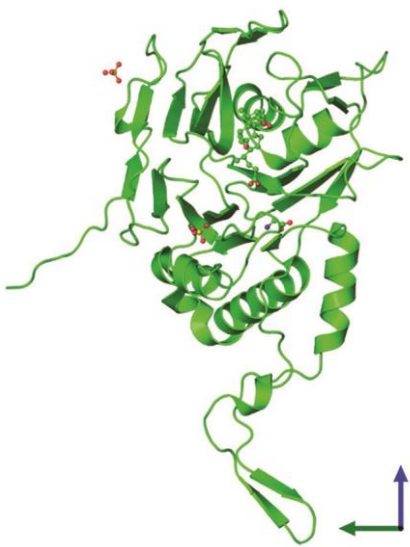
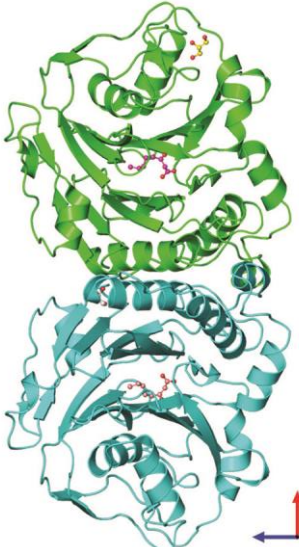

Известные гидролазы желчных кислот

Код PDB	Условное название	Микроорганизм-продуцент	Дата открытия	Исследователи, открывшие фермент	Структурная организация
1	2	3	4	5	6
4wl3	Гидролаза желчной соли из <i>Enterococcus faecalis</i>	<i>Enterococcus faecalis</i> T2	11.11.2015	Ramasamy S., Chand D., Suresh C.G.	
2rg2	Вариант R18L гидролазы конъюгированных желчных кислот из <i>Clostridium perfringens</i>	<i>Clostridium perfringens</i>	17.02.2009	Rossmann M., Saenger W.	

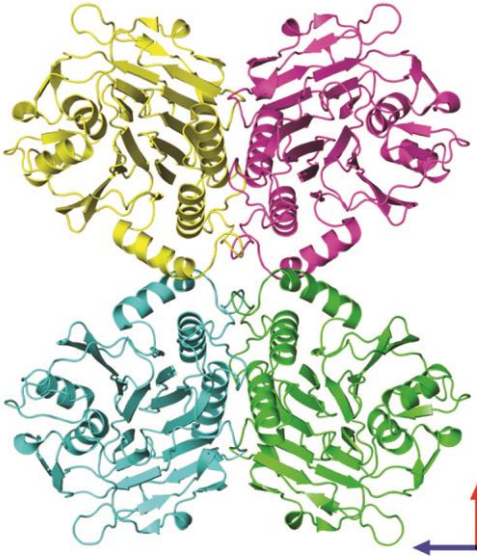
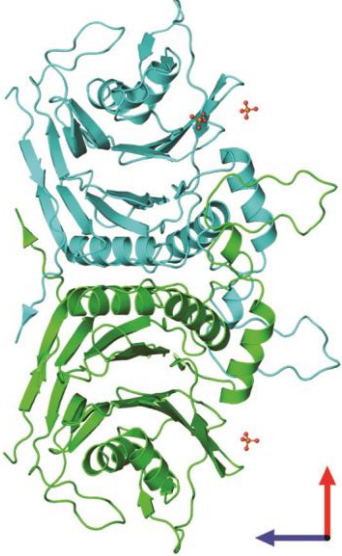
Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
2rf8	Мутантная C2A- конъюгирующая гидролаза желчных кислот из <i>Clostridium perfringens</i>	<i>Clostridium perfringens</i>	7.10.2008.	Rossmann M., Saenger W.	
2bjf	Конъюгирующая гидролаза желчных кислот из <i>Clostridium perfringens</i> в комплексе с продуктами реакции таурином и дезоксихолатом	<i>Clostridium perfringens</i>	03.03.2005.	Rossocha M., Schultz-Heienbrok R., Von Moeller H., Coleman J.P., Saenger W.	
2bjg	Конъюгирующая гидролаза желчных кислот из <i>Clostridium perfringens</i> в комплексе с продуктами реакции таурином и дезоксихолатом	<i>Clostridium perfringens</i>	03.05.2005	Rossocha M., Schultz-Heienbrok R., Von Moeller H., Coleman J.P., Saenger W.	

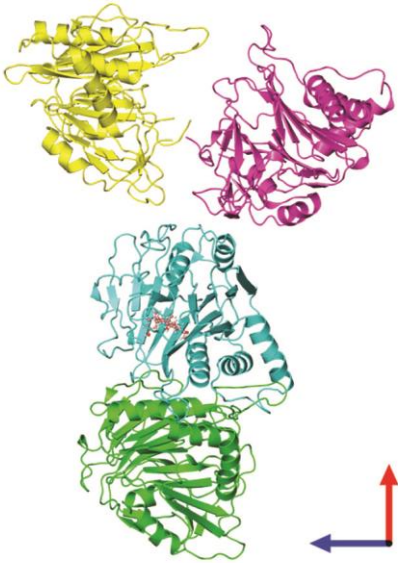
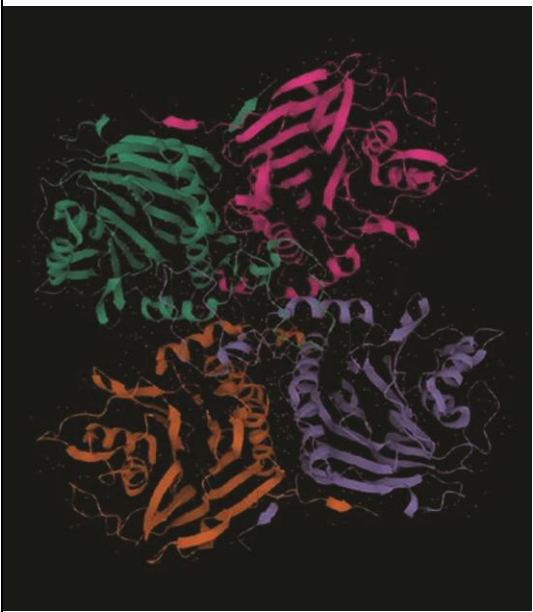
Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
2rl c	Конъюгированная гидролаза желчных кислот из <i>Clostridium perfringens</i> в комплексе с продуктами реакции глицином и холатом	<i>Clostridium perfringens</i>	17.02.2009	Rossmann M., Saenger W.	
5x9i	Уникальный мутант-член хололиглицингидролазы (CGH) (C1S) от <i>Shewanella loihica PV-4</i>	<i>Shewanella loihica PV-4</i>	7.03.2018..	Ramasamy S., Philem P., Yadav Y.	
5gs7	Мутант Cys2Ala гидролазы желчной соли из <i>Enterococcus faecalis</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>	16.08.2017.	Ramasamy S., Deepak C., Varshney N.K., Suresh C.G.	

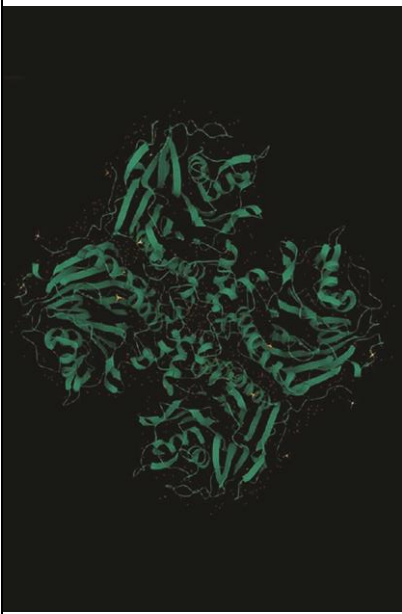
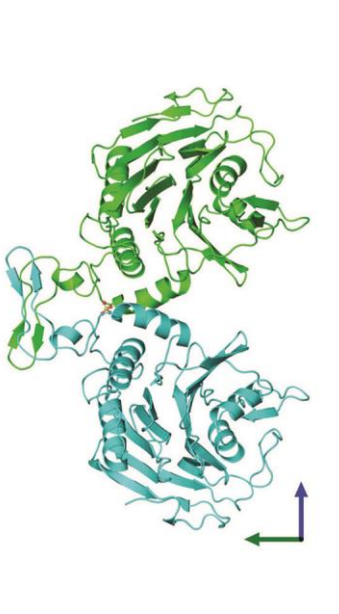
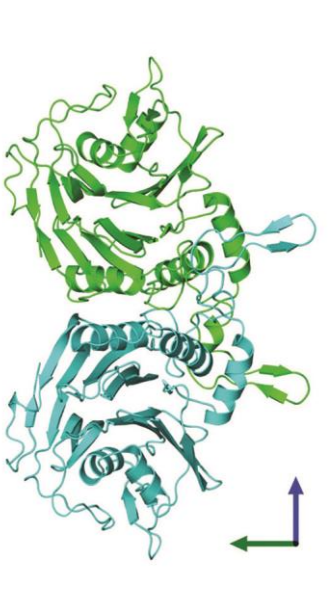
Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
5j9r	Пенициллин V ацилазы из <i>Agrobacterium tumefaciens</i>	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	21.06.2017	Ramasamy S., Avinash V.S., Pundle A.V.	
5hke	Гидролаза желчной соли из <i>Lactobacillus salivarius</i>	<i>Lactobacillus salivarius</i>	11. 05.2016.	Hu X-J	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
буh4	Гидролаза жёлчной соли из <i>Bacteroides thetaiotaomicron</i> с ковалентным ингибитором	<i>Bacteroides thetaiotaomicron</i>	19.02.2020.	Seegar T.C.M.	
7sve	Гидролаза жёлчной соли A из <i>Lactobacillus acidophilus</i>	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	25.01.2023.	Walker M.E., Redinbo M.R.	

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
7svk	Гидролаза жёлчной соли из <i>Lactobacillus reuteri</i>	<i>Lactobacillus reuteri</i>	25.01.2023.	Walker M.E., Beatty V.V., Redinbo M.R.	
2hez	Гидролаза жёлчной соли из <i>Bifidobacterium longum</i>	<i>Bifidobacterium longum</i>	19.09.2006.	Suresh C.G., Kumar R.S., Brannigan J.A.	
2hf0	Гидролаза жёлчной соли из <i>Bifidobacterium longum</i>	<i>Bifidobacterium longum</i>	19.09.2006.	Suresh C.G., Kumar R.S., Brannigan J.A.	

Данный фермент, продуцируемый несколькими видами бактерий в желудочно-кишечном тракте животных, в основном способствует разрушению глицин- или таурин-связанных видов жёлчных кислот за счёт гидролиза амидных связей с образованием первичных (неконъюгированных) жёлчных кислот. Процесс является обратимым, большинство продуктов деконъюгации подвергаются дегидроксилированию и восстанавливаются до вторичных жёлчных кислот под действием фермента никотинамидадениндинуклеотидфосфата [37].

Отдельно следует отметить роль кишечного микробиома в энтерогепатической циркуляции жёлчных кислот, так как он является одним из определяющих факторов их вторичного формирования и, следовательно, напрямую влияет, в том числе, на показатели гидрофобности и гидрофильности жёлчеческислотного пула. Первичные жёлчные кислоты, «выпадающие» из энтерогепатической циркуляции, концентрируются в различных разделах толстого кишечника животных, где, по данным некоторых исследований, присутствует более 1000 видов микроорганизмов, которые представлены различными бактериями, археями, и грибами. Большая часть среды толстого кишечника является анаэробной, в ней способны существовать как облигатные, так и факультативные бактерии.

В настоящее время, в рамках изучения коморбидных патологий по оси «кишечник-печень» ведутся фундаментальные исследования о влиянии дисбиотических состояний на функциональность гепатобилиарной системы. Так, по данным G. Kakiyama и соавторов [38], при нарушении видового состава и количественного соотношения бактериальных и грибковых микроорганизмов в ЖКТ наблюдается достоверное микробиоценоз-опосредованное изменение пула жёлчных кислот со смещением в сторону увеличения синтеза цитотоксичных и уменьшения количества цитопротективных жёлчных кислот. В то же время H.J. Fukui установил ведущую роль изменения микробиоты кишечника в патогенезе цирроза печени посредством изменения соотношения между собственными «печеночными» жёлчными кислотами и теми, которые образовались под действием микрофлоры [39]. Данные научные публикации позволяют сделать вывод о влиянии дисбиозов желудочно-кишечного тракта на энтерогепатическую циркуляцию жёлчных кислот и впоследствии на возникновение гепатобилиарных патологий.

Отсутствует единое мнение, что конкретно является субстратом для активации действия

BSH, однако большинство исследователей считают, что им являются либо аминокислотные группы (глицин и таурин), либо холатное стероидное ядро жёлчной кислоты. В нескольких литературных источниках сообщалось, что среди BSH, субстратом которых являются аминокислотные фрагменты, гидролиз гликоконъюгированных жёлчных кислот обычно более эффективен, чем тауроконъюгированных [40, 41].

В поддержании энтерогепатической циркуляции жёлчных кислот принимают участие особые химические соединения – транспортёры жёлчных кислот. Так, активность всасывания солюбилизирующих агентов из просвета подвздошной кишки напрямую зависит от апикального натрий-зависимого транспортёра жёлчных кислот [42].

Экспрессия транспортеров жёлчных кислот в энтерогепатической циркуляции определяется не только системами поглощения и оттока, но и ключевыми синтетическими ферментами жёлчных кислот. Для обеспечения баланса между синтезом, поглощением и экскрецией экспрессия транспортеров жёлчных кислот жестко регулируется [43, 44].

Считается, что все представители пула жёлчных кислот проходят через процесс энтерогепатической циркуляции с одинаковой скоростью и по одному и тому же циклу. Однако данное предположение может быть не совсем верным, поскольку из некоторых литературных источников известно, что конъюгированные с глицином дигидроксижёлчные кислоты всасываются преимущественно в проксимальной зоне терминальной подвздошной кишки, в отличие от конъюгированных с таурином тригидроксиджёлчных кислот.

Отдельно следует обозначить те факторы, которые могут изменить процесс энтерогепатической циркуляции. На абсорбцию, биотрансформацию и энтерогепатическую циркуляцию могут влиять количественный состав пула жёлчных кислот, индивидуальные конституциональные особенности, пол животного, его возраст, а также некоторые фармакологические препараты.

ВЫВОДЫ

1. Регулирование метаболизма жёлчных кислот является одним из важнейших звеньев поддержания гомеостаза живых организмов, которое заключается в непрекращающейся компенсации потерь жёлчных кислот с целью поддержания постоянного качественного и количественного размера их пула.

2. Обзор основных физиологических механизмов энтерогепатической циркуляции желчных кислот с совокупностью знаний о возможных путях их синтеза, механизмах и основных этапах желчеобразования, ферментативных системах и способах их активации, а также о способах поддержания и влияющих эндо- и экзогенных факторах могут способствовать как дальнейшему изучению предикторной

функции данных соединений, так и находить в будущем актуальные и эффективные точки приложения лекарственных препаратов с целью рациональной фармакокоррекции патологий гепатобилиарной системы.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-00158, <https://rscf.ru/project/22-26-00158/>.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Reshetnyak V.I.* Physiological and molecular biochemical mechanisms of bile formation // *World Journal of Gastroenterology*. – 2013. – Vol. 19. – N 42. – P. 7341–7360. – DOI: 10.3748/wjg.v19.i42.7341.
2. Щелоченков С.В. Роль желчных кислот в канцерогенезе желудка // Эффективная фармакотерапия. – 2020. – Т. 16, № 30. – С. 50–55. – DOI: 10.33978/2307-3586-2020-16-30-50-55.
3. *Granero G.E., Amidon G.L.* Possibility of enterohepatic recycling of ketoprofen in dogs // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2008. – Vol. 349, N 1–2. – P. 166–171. – DOI: 10.1016/j.ijpharm.2007.08.005.
4. *Development* and application of new methods of correction and prevention of metabolic diseases in Holstein cattle / I.S. Stepanov, I.I. Kalugniy, D.S. Markova [et al.] // IOP conference series: earth and environmental science: Agriculture, field cultivation, animal husbandry, forestry and agricultural products. – Smolensk. – 2021. – P. 022–030. – DOI: 10.1088/1755-1315/723/2/022030.
5. *Diagnosis* of hepatopathy in Holstein cattle with metabolic disorders / I.I. Kalugniy, D.S. Markova, A.V. Yashin [et al.] // IOP conference series: earth and environmental science: Agriculture, field cultivation, animal husbandry, forestry and agricultural products. – Smolensk, 2021. – P. 022–029.
6. *Dosch A.R., Imagawa D.K., Jutric Z.* Bile Metabolism and Lithogenesis: An Update // *Surgical Clinics of North America*. – 2019. – Vol. 99, N 2. – P. 215–229. – DOI: 10.1016/j.suc.2018.12.003.
7. Костюченко Л.Н., Кузьмина Т.Н., Смирнова О.А. Роль желчных кислот в обеспечении энтерогепатической циркуляции при проведении нутриционной реабилитации после обширных резекций кишечника // *Consilium Medicum*. – 2015. – Т. 17, N 8. – С. 62–65.
8. *Agellon L.B.* Bile acids: At the crossroads of sterol, fat and carbohydrate metabolism // *Biochemistry of Atherosclerosis*. – 2006. – P. 186–201. – DOI: 10.1007/0-387-36279-3_10.
9. *Bile acids and their signaling pathways: Eclectic regulators of diverse cellular functions* / E Scotti., F. Gilardi, C. Godio [et al.] // *Cellular and Molecular Life Sciences (CMLS)*. – 2007. – Vol. 64, N 19–20, P. 2477–2491. – DOI: 10.1007/s00018-007-7280-y.
10. Тюрюмин Я.Л., Шантуров В.А., Тюрюмина Е.Э. Физиология желчи // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. – 2011. – № 4–2 (80). – С. 341–346.
11. *Hepatobiliary* excretion and enterohepatic circulation of colchicine in rats / J.Y. Chen, S.M. Huang, C.Y. Liu [et al.] // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2008. – Vol. 350, N 1–2. – P. 230–239. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2007.08.052.
12. *Hofmann A.F.* Bile Acids and the Enterohepatic Circulation // *The Liver: Biology and Pathobiology: Fifth Edition*. – 2009. – P. 287–304. – DOI: 10.1002/9780470747919.ch20.
13. *Van De Peppel I.P., Verkade H.J., Jonker J.W.* Metabolic consequences of ileal interruption of the enterohepatic circulation of bile acids // *American Journal of Physiology – Gastrointestinal and Liver Physiology*. – 2020. – Vol. 319, N 5. – P. G619–G625. – DOI: 10.1152/AJPGI.00308.2020.
14. *Snyder H.* Literature Review as a Research Methodology: An Overview and Guidelines // *Journal of Business Research*. – 2019. – Vol. 104. – P. 333–339. – DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2019.07.039>.

15. *Bile acid physiology* / A. Di Ciaula, G. Garruti, R. Lunardi Baccetto [et al.] // *Annals of hepatology*. – 2017. – Т. 16, N. 1. – С. 4–14.
16. *Bile acid profiles within the enterohepatic circulation in a diabetic rat model after bariatric surgeries* / M. Wei, Y. Shao, Q.R. Liu [et al.] // *American Journal of Physiology – Gastrointestinal and Liver Physiology*. – 2018. – Vol. 314, N 5. – P. G537–G546. – DOI: 10.1152/ajpgi.00311.2017.
17. *Enterohepatic circulation of bile acids and their emerging roles on glucolipid metabolism* / J.M. Chen, C. Liu, Y. Wan [et al.] // *Steroids*. – 2021. – Vol. 165. – P. 108757. – DOI: 10.1016/j.steroids.2020.108757.
18. *2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD)-elicited effects on bile acid homeostasis: Alterations in biosynthesis, enterohepatic circulation, and microbial metabolism* / A.K. Fader, R. Nault, T.R. Zacharewski [et al.] // *Scientific Reports*. – 2017. – Vol. 7, N 1. – P. 5927. – DOI: 10.1038/s41598-017-05656-8.
19. *Chow M.D., Lee Y.H., Guo G.L.* The role of bile acids in nonalcoholic fatty liver disease and non-alcoholic steatohepatitis // *Molecular Aspects of Medicine*. – 2017. – Vol. 56. – P. 34–44. – DOI: 10.1016/j.mam.2017.04.004.
20. *Тюрюмин Я.Л., Шантуров В.А., Тюрюмина Е.Э.* Механизм формирования "литогенной" желчи // *Дневник казанской медицинской школы*. – 2017. – № 4 (18). – С. 123–127.
21. *Ойоткинова О.Ш., Никонов Е.Л., Гюева И.З.* Роль микробиоты кишечника в патогенезе дислипидемии и ассоциированных метаболических нарушений // *Доказательная гастроэнтерология*. – 2017. – Т. 6, N 2. – С. 29–34. – DOI: 10.17116/dokgastro20176229-34.
22. *Желчные кислоты как диагностический показатель состояния гомеостаза: систематический описательный анализ* / Ю.Е. Кузнецов, А.М. Лунегов, В.С. Понамарев [и др.] // *Международный вестник ветеринарии*. – 2022. – № 1. – С. 52–56. – DOI: 10.52419/issn2072-2419.2022.1.52.
23. *Попова О.С., Агафонова Л.А.* Особенности метаболизма желчных кислот у рыб // *Международный вестник ветеринарии*. – 2022. – № 1. – С. 61–65. – DOI: 10.52419/issn2072-2419.2022.1.61.
24. *A Physiology-Based Model of Bile Acid Distribution and Metabolism Under Healthy and Pathologic Conditions in Human Beings* / V. Voronova, V. Sokolov, K. Peskov [et al.] // *CMGH Cellular and Molecular Gastroenterology and Hepatology*. – 2020. – Vol. 10, N 1, P. 149–170. – DOI: 10.1016/j.jcmgh.2020.02.005.
25. *Лунегов А.М., Понамарев В.С.* Влияние препарата на основе вторичных желчных кислот на регенерацию паренхимы печени при моделировании токсического гепатита // *Аграрная наука*. – 2021. – № 10. – С. 24–26. – DOI: 10.32634/0869-8155-2021-353-10-24-26.
26. *Dosch A.R., Imagawa D.K., Jutric Z.* Bile Metabolism and Lithogenesis: An Update // *Surgical Clinics of North America*. – 2019. – Vol. 99, N 2. – P. 215–229. – DOI 10.1016/j.suc.2018.12.003.
27. *Cholesterol metabolism: A review of how ageing disrupts the biological mechanisms responsible for its regulation* / E.A. Morgan, S.J. Wilkinson, M.T. Mc Auley [et al.] // *Ageing Research Reviews*. – 2016. – Vol. 27. – P. 108–124. – DOI: 10.1016/j.arr.2016.03.008.
28. *The Contributing Role of Bile Acids to Metabolic Improvements After Obesity and Metabolic Surgery* / F. Fouladi, K.J. Steffen, J.E. Mitchell [et al.] // *Obesity Surgery*. – 2016. – Vol. 26, No 10. – P. 2492–2502. – DOI 10.1007/s11695-016-2272-3.
29. *Baghdasaryan A., Trauner M., Chiba P.* Clinical application of transcriptional activators of bile salt transporters // *Molecular Aspects of Medicine*. – 2014. – Vol. 37. – P. 57–76. – DOI: 10.1016/j.mam.2013.12.001.
30. *Guts and gall: Bile acids in regulation of intestinal epithelial function in health and disease* / P. Hegyi, J. Maléth, J.R. Walters [et al.] // *Physiological Reviews*. – 2018. – Vol. 98, No 4. – P. 1983–2023. – DOI: 10.1152/physrev.00054.2017.
31. *Dawson P.A.* Bile Acid Metabolism // *Biochemistry of Lipids, Lipoproteins and Membranes: Sixth Edition*. – 2015. – P. 359–389. – DOI: 10.1016/B978-0-444-63438-2.00012-2.
32. *Евсютина Ю.В., Ивашкин В.Т.* Метаболизм желчных кислот, заболевания печени и микробиом // *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии*. – 2018. – Т. 28, N 2. – С. 4–10.

33. Понамарев В.С., Андреева Н.Л., Голодяева М.С. Исследование острой токсичности гепатопротектора «Гепатон» на грызунах // Международный вестник ветеринарии. – 2019. – № 4. – С. 81–85.
34. Понамарев В.С. Изучение эмбриотоксического и тератогенного действия препарата «Гепатон» // Инновационные тенденции развития российской науки: материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. – Красноярск, 2020. – С. 85–86.
35. Биохимические показатели крови экспериментальных животных при лечении препаратом "Гепатон" и препаратами сравнения токсического поражения печени, вызванного дихлорэтаном / В.С. Понамарев, Н.Л. Андреева, Е.С. Королева [и др.] // Биотехнология: взгляд в будущее. – Ставрополь: Ставрополь. гос. мед. ун-т, 2020. – С. 19–21.
36. Protein Data bank in Europe (PDBe) [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ebi.ac.uk/pdbe/entry/search/index/?searchParams=%7B%22q_ec_number%22:%5B%7B%22value%22:%223.5.1.24%22,%22condition1%22:%22AND%22,%22condition2%22:%22%3D%22%7D%5D,%22resultState%22:%7B%22tabIndex%22:0,%22paginationIndex%22:2,%22perPage%22:%2210%22,%22sortBy%22:%22Sort%20by%22%7D%7D (дата обращения: 29.03.2023)
37. Понамарев В.С., Попова О.С. Влияние препарата "Гепатон" на реакции перекисного окисления липидов // Международный вестник ветеринарии. – 2020. – № 2. – С. 112–115. – DOI: 10.17238/issn2072-2419.2020.2.112.
38. Modulation of the fecal bile acid profile by gut microbiota in cirrhosis / G. Kakiyama, W.M. Pandak, P.M. Gillevet [et al.] // J. Hepatol. – 2013. – Vol. 58, N 5. – P. 949–955. – DOI: 10.1016/j.jhep.2013.01.003.
39. Fukui Hiroshi. Gut Microbiome-based Therapeutics in Liver Cirrhosis: Basic Consideration for the Next Step. // J. Clin. Transl. Hepatol. – 2017. – Vol. 5. – P. 1–12. – DOI: 10.14218/JCTH.2017.00008.
40. Di Gregorio M. C., Cautela J., Galantini L. Physiology and physical chemistry of bile acids // International Journal of Molecular Sciences. – 2021. – Vol. 22. – No 4. – P. 1–23. – DOI: 10.3390/ijms22041780.
41. Hikmatov Ja.S., Yo'ldoshev U.H. Influence of intestinal microflora on the development of gallstone disease (literature review) // Вопросы науки и образования. – 2021. – N 18 (143). – P. 29–40.
42. Stofan M., Guo G.L. Bile Acids and FXR: Novel Targets for Liver Diseases // Frontiers in Medicine. – 2020. – Vol. 7, N FEB. – P. 544. – DOI: 10.3389/fmed.2020.00544.
43. Bile Acids, Liver Cirrhosis, and Extrahepatic Vascular Dysfunction / T. Sauerbruch, M. Hennenberg, J. Trebicka [et al.] // Frontiers in Physiology. – 2021. – Vol. 12, N APR. – P. 718783. – DOI: 10.3389/fphys.2021.718783.
44. Bile acids contribute to the development of non-alcoholic steatohepatitis in mice / J. Gillard, L.A. Clerbaux, M. Nachit [et al.] // JHEP Reports. – 2022. – Vol. 4, N 1. – P. 100387. – DOI: 10.1016/j.jhepr.2021.100387.

REFERENCES

1. Reshetnyak V.I., Physiological and molecular biochemical mechanisms of bile formation, World Journal of Gastroenterology, 2013, Vol. 19, No. 42, pp. 7341–7360. – DOI: 10.3748/wjg.v19.i42.7341.
2. Shchelochkov S.V., Effektivnaya farmakoterapiya, 2020, Vol. 16, No. 30, pp. 50–55, DOI: 10.33978/2307-3586-2020-16-30-50-55. (In Russ.)
3. Granero G.E., Amidon G.L., Possibility of enterohepatic recycling of ketoprofen in dogs, International Journal of Pharmaceutics, 2008, Vol. 349, N. 1–2, pp. 166–171, DOI: 10.1016/j.ijpharm.2007.08.005.
4. Stepanov I.S., Kalugniy I. I., Markova D. S., et al., Development and application of new methods of correction and prevention of metabolic diseases in Holstein cattle, IOP conference series: earth and environmental science: Agriculture, field cultivation, animal husbandry, forestry and agricultural products, Smolensk, 2021, pp. 022–030, DOI: 10.1088/1755-1315/723/2/022030.

5. Kalugniy I.I., Markova D.S., Yashin A.V., et al., Diagnosis of hepatopathy in Holstein cattle with metabolic disorders, IOP conference series: earth and environmental science: Agriculture, field cultivation, animal husbandry, forestry and agricultural products, Smolensk, 2021, pp. 022–029.
6. Dosch A.R., Imagawa D.K., Jutric Z., Bile Metabolism and Lithogenesis: An Update, *Surgical Clinics of North America*, 2019, Vol. 99, No 2, pp. 215–229, DOI: 10.1016/j.suc.2018.12.003.
7. Kostyuchenko L.N., Kuz'mina T.N., Smirnova O.A., *Consilium Medicum*, 2015, Vol. 17, No. 8, pp. 62–65. (In Russ.)
8. Agellon L.B., Bile acids: At the crossroads of sterol, fat and carbohydrate metabolism, *Biochemistry of Atherosclerosis*, 2006, pp. 186–201, DOI: 10.1007/0-387-36279-3_10.
9. Scotti E., Gilardi F., Godio C., et al., Bile acids and their signaling pathways: Eclectic regulators of diverse cellular functions, *Cellular and Molecular Life Sciences (CMLS)*, 2007, Vol. 64, No. 19–20, pp. 2477–2491, DOI: 10.1007/s00018-007-7280-y.
10. Tyuryumin Ya.L., Shanturov V.A., Tyuryumina E.E., *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchno-go centra Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii medicinskih nauk*, 2011, No. 4–2 (80), pp. 341–346. (In Russ.)
11. Chen J.Y., Huang S.M., Liu C.Y., et al., Hepatobiliary excretion and enterohepatic circulation of colchicine in rats, *International Journal of Pharmaceutics*, 2008, Vol. 350, No. 1–2, pp. 230–39, DOI: 10.1016/j.ijpharm.2007.08.052.
12. Hofmann A.F., Bile Acids and the Enterohepatic Circulation, *The Liver: Biology and Pathobiology: Fifth Edition*, 2009, pp. 287–304, DOI: 10.1002/9780470747919.ch20.
13. Van De Peppel I.P., Verkade H.J., Jonker J.W., Metabolic consequences of ileal interruption of the enterohepatic circulation of bile acids, *American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology*, 2020, Vol. 319, No. 5, pp. G619–G625, DOI: 10.1152/AJPGI.00308.2020.
14. Snyder H., Literature Review as a Research Methodology: An Overview and Guidelines, *Journal of Business Research*, 2019, Vol. 104, pp. 333–339, DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2019.07.039>.
15. Di Ciaula A., Garruti G., Lunardi Baccetto R., et al., Bile acid physiology, *Annals of hepatology*, 2017, T. 16, No. 1, pp. 4–14.
16. Wei M., Shao Y., Liu Q.R., et al., Bile acid profiles within the enterohepatic circulation in a diabetic rat model after bariatric surgeries, *American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology*, 2018, Vol. 314, No. 5, pp. G537–G546, DOI: 10.1152/ajpgi.00311.2017.
17. Chen J.M., Liu C., Wan Y., et al., Enterohepatic circulation of bile acids and their emerging roles on glucolipid metabolism, *Steroids*, 2021, Vol. 165, pp. 108757, DOI: 10.1016/j.steroids.2020.108757.
18. Fader A.K., Nault R., Zacharewski T.R., et al., 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD)-elicited effects on bile acid homeostasis: Alterations in biosynthesis, enterohepatic circulation, and microbial metabolism, *Scientific Reports*, 2017, Vol. 7, No. 1, pp. 5927, DOI: 10.1038/s41598-017-05656-8.
19. Chow M.D., Lee Y.H., Guo G.L., The role of bile acids in nonalcoholic fatty liver disease and nonalcoholic steatohepatitis, *Molecular Aspects of Medicine*, 2017, Vol. 56, pp. 34–44, DOI: 10.1016/j.mam.2017.04.004.
20. Tyuryumin Ya.L., Shanturov V.A., Tyuryumina E.E., *Dnevnik kazanskoj medicinskoj shkoly*, 2017, No. 4 (18), pp. 123–127. (In Russ.)
21. Ojnotkinova O.Sh., Nikonov E.L., Gioeva I.Z., *Dokazatel'naya gastroenterologiya*, 2017, Vol. 6, No. 2, pp. 29–34, DOI: 10.17116/dokgastro20176229-34. (In Russ.)
22. Kuznecov Yu.E., Lunegov A.M., Ponamarev V.S., Romashova E.B., *Mezhdunarodnyj vestnik veterinarii*, 2022, No. 1, pp. 52–56, DOI: 10.52419/issn2072-2419.2022.1.52. (In Russ.)
23. Popova O.S., Agafonova L.A., *Mezhdunarodnyj vestnik veterinarii*, 2022, No. 1, pp. 61–65, DOI: 10.52419/issn2072-2419.2022.1.61. (In Russ.)
24. Voronova V., Sokolov V., Peskov K., et al., A Physiology-Based Model of Bile Acid Distribution and Metabolism Under Healthy and Pathologic Conditions in Human Beings, *CMGH Cellular and Molecular Gastroenterology and Hepatology*, 2020, Vol. 10, No. 1, pp. 149–170, DOI: 10.1016/j.jcmgh.2020.02.005.

25. Lunegov A.M., Ponamarev V.S., *Agrarnaya nauka*, 2021, No. 10, pp. 24–26. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-353-10-24-26. (In Russ.)
26. Dosch A.R., Imagawa D.K., Jutric Z., *Bile Metabolism and Lithogenesis: An Update*, *Surgical Clinics of North America*, 2019, Vol. 99, No. 2, pp. 215–229, DOI: 10.1016/j.suc.2018.12.003.
27. Morgan E.A., Wilkinson S.J., Mc Auley M.T., et al., *Cholesterol metabolism: A review of how ageing disrupts the biological mechanisms responsible for its regulation*, *Ageing Research Reviews*, 2016, Vol. 27, pp. 108–124, DOI: 10.1016/j.arr.2016.03.008.
28. Fouladi F., Steffen K.J., Mitchell J.E., et al., *The Contributing Role of Bile Acids to Metabolic Improvements After Obesity and Metabolic Surgery*, *Obesity Surgery*, 2016, Vol. 26, No. 10, pp. 2492–2502, DOI: 10.1007/s11695-016-2272-3.
29. Baghdasaryan A., Trauner M., Chiba P., *Clinical application of transcriptional activators of bile salt transporters*, *Molecular Aspects of Medicine*, 2014, Vol. 37, pp. 57–76, DOI: 10.1016/j.mam.2013.12.001.
30. Hegyi P., Maléth J., Walters J. R., et al., *Guts and gall: Bile acids in regulation of intestinal epithelial function in health and disease*, *Physiological Reviews*, 2018, Vol. 98, No. 4, pp. 1983–2023, DOI: 10.1152/physrev.00054.2017.
31. Dawson P.A., *Bile Acid Metabolism*, *Biochemistry of Lipids, Lipoproteins and Membranes: Sixth Edition*, 2015, pp. 359–389, DOI: 10.1016/B978-0-444-63438-2.00012-2.
32. Evsyutina Yu.V., Ivashkin V.T., *Rossijskij zhurnal gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii*, 2018, Vol. 28, No. 2, pp. 4–10. (In Russ.)
33. Ponamarev V.S., Andreeva N.L., Golodyaeva M.S., *Mezhdunarodnyj vestnik veterinarii*, 2019, No. 4, pp. 81–85. (In Russ.)
34. Ponamarev V.S., *Innovacionnye tendencii razvitiya rossijskoj nauki (Innovative trends in the development of Russian science)*, *Proceedings of the Conference Title*, Krasnoyarsk: Krasnoyarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2020, pp. 85–86. (In Russ.)
35. Ponamarev V.S., Andreeva N.L., Koroleva E.S., Kostrova A.V., *Biotekhnologiya: vzglyad v budushchee*, Stavropol': Stavropol'skij gosudarstvennyj medicinskij universitet, 2020, pp. 19–21. (In Russ.)
36. Protein Data bank in Europe (PDBe): https://www.ebi.ac.uk/pdbe/entry/search/index/?searchParams=%7B%22q_ec_number%22:%5B%7B%22value%22:%223.5.1.24%22,%22condition1%22:%22AND%22,%22condition2%22:%22%3D%22%7D%5D,%22resultState%22:%7B%22tabIndex%22:0,%22paginationIndex%22:2,%22perPage%22:%2210%22,%22sortBy%22:%22Sort%20by%22%7D%7D (Date: 29.03.2023)
37. Ponamarev V.S., Popova O.S., *Mezhdunarodnyj vestnik veterinarii*, 2020, No. 2, pp. 112–115, DOI: 10.17238/issn2072-2419.2020.2.112. (In Russ.)
38. Kakiyama G., Pandak W.M., Gillevet P.M. [et al.], *Modulation of the fecal bile acid profile by gut microbiota in cirrhosis*, *J. Hepatol.*, 2013, Vol. 58, No. 5, pp. 949–955, DOI: 10.1016/j.jhep.2013.01.003.
39. Fukui, Hiroshi, *Gut Microbiome-based Therapeutics in Liver Cirrhosis: Basic Consideration for the Next Step.*, *J. Clin. Transl. Hepatol.*, 2017, Vol. 5, pp. 1–12, DOI: 10.14218/JCTH.2017.00008.
40. Di Gregorio M.C., Cautela J., Galantini L., *Physiology and physical chemistry of bile acids*, *International Journal of Molecular Sciences*, 2021, Vol. 22, No 4, pp. 1–23, DOI: 10.3390/ijms22041780.
41. Hikmatov Ja.S., Yo'ldoshev U.H., *Influence of intestinal microflora on the development of gallstone disease (literature review)*, *Вопросы науки и образования*, 2021, No. 18 (143), pp. 29–40.
42. Stofan M., Guo G.L., *Bile Acids and FXR: Novel Targets for Liver Diseases*, *Frontiers in Medicine*, 2020, Vol. 7, No. FEB, pp. 544, DOI: 10.3389/fmed.2020.00544.
43. Sauerbruch T., Hennenberg M., Trebicka J., et al., *Bile Acids, Liver Cirrhosis, and Extrahepatic Vascular Dysfunction*, *Frontiers in Physiology*, 2021, Vol. 12, No. APR, pp. 718783, DOI: 10.3389/fphys.2021.718783.
44. Gillard J., Clerbaux L.A., Nachit M., et al., *Bile acids contribute to the development of non-alcoholic steatohepatitis in mice*, *JHEP Reports*, 2022, Vol. 4, No. 1, P. 100387, DOI: 10.1016/j.jhepr.2021.100387.

ВЛИЯНИЕ ГЕНОФОНДА ПОРОДЫ НА СОДЕРЖАНИЕ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЕДИ В ПЕЧЕНИ СВИНЕЙ

А.В. Назаренко, старший научный сотрудник

О.А. Зайко, кандидат биологических наук, доцент

Т.В. Коновалова, старший научный сотрудник

О.С. Короткевич, доктор биологических наук, профессор

О.И. Себежко, кандидат биологических наук, доцент

В.Л. Петухов, доктор биологических наук, профессор

С.Г. Куликова, доктор биологических наук

В.В. Гарт, доктор сельскохозяйственных наук

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: andrey2221100@mail.ru

Ключевые слова: медь, печень, породы свиней, кемеровская, скороспелая мясная, ландрас, межпородные различия, генофонд.

Реферат. Изучен средний уровень содержания и изменчивости меди в печени свиней разных пород. Пробы паренхиматозного органа у свиней были взяты непосредственно после убоя и проанализированы на базе аналитического центра коллективного пользования Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук методом атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной и электротермической атомизацией на спектрометре SOLAAR M6 (США) согласно ГОСТ 26929-94 Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. Нормальное распределение признака было выявлено только у породы ландрас ($W = 0,94$). В зонах разведения пород свиней исследовано содержание тяжелых металлов в почве, воде и кормах, которое не превышало ПДК. Наибольшая изменчивость микроэлемента наблюдалась у кемеровской породы, наименьшая — у породы ландрас. Максимальное содержание меди отмечалось у скороспелой мясной породы, минимальное — у породы ландрас. Уровень меди в печени свиней породы ландрас характеризовался меньшим межквартильным размахом по отношению к кемеровской и скороспелой мясной.

INFLUENCE OF THE GENE POOL OF THE BREED ON THE CONTENT AND VARIABILITY OF COPPER IN THE LIVER OF PIGS

A.V. Nazarenko, Senior Researcher

O.A. Zaiko, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

T.V. Konovalova, Senior Researcher

O.S. Korotkevich, Doctor of Biological Sciences, Professor

O.I. Sebezhko, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

V.L. Petukhov, Doctor of Biological Sciences, Professor

S.G. Kulikova, Doctor of Biological Sciences

V.V. Garth, Doctor of Agricultural Sciences

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: andrey2221100@mail.ru

Keywords: copper, liver, pig breeds, Kemerovo, early meat, Landrace, interbreed differences, gene pool.

Abstract. The average level and variability of copper in the liver of pigs of different breeds were studied. Samples of parenchymal organs from pigs were taken immediately after slaughter and analysed at the analytical centre for collective use of V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences using the method of atomic absorption spectrometry with flame and electrothermal atomisation on the SOLAAR M6 spectrometer (USA) by GOST 26929-94 Raw materials and food products—sample preparation Mineralization to determine the content of toxic elements. A normal distribution of the trait was

found only in the Landrace breed ($W = 0.94$). In pig breeding areas, the content of heavy metals in soil, water and feed was studied, which did not exceed the maximum permissible concentration. The most significant variability of the microelement was observed in the Kemerovo breed, the least - in the Landrace breed. The full copper content was marked in the early ripening meat breed and the minimum in the Landrace breed. A smaller interquartile range about the Kemerovo and early meat breeds characterised the level of copper in the liver of Landrace pigs.

Экологическая безопасность ввозимой и производимой в нашей стране сельскохозяйственной мясной продукции является главной прерогативой агропромышленного комплекса РФ [1]. Наряду с этим важны исследования элементного статуса животных, в частности пород свиней из разных географических регионов России [2, 3].

В Западной Сибири проводятся комплексные исследования генофонда и фенофонда локальных аборигенных пород, важных для сельского хозяйства данного региона и страны в целом [4–9]. Активно ведется мониторинг водных источников, почвенного грунта, кормов и флоры на содержание макро- и микроэлементов в биосубстратах с целью повышения эффективности и темпов производства мясной продукции [10–12].

Медь является важным эссенциальным микроэлементом для свиней и кофактором для многих клеточных ферментов. Она может способствовать формированию остеоцитов костной ткани, участвовать в кроветворении, повышать устойчивость к чужеродным патогенам, иммунитет и антиоксидантную способность организма. Всасывание микроэлемента у свиней происходит в основном в желудочно-кишечном тракте. Медь поглощается эпителием желудочно-кишечного тракта посредством насыщенного транспорта при низкой концентрации химического элемента в просвете и путем простой диффузии при высокой его концентрации [13].

На усвоение меди влияют многие факторы, такие как ее уровень в рационе, активная форма и стадия роста свиней. В целом способность к поглощению меди у молодых и беременных животных выше, чем у зрелых [14]. После поглощения меди клетками ее хранение, транспорт и удаление свободных радикалов регулируются несколькими путями, такими как путь Cu-ATOX1-Гольджи (TGN), митохондриальный путь Cu-Coх17 и путь супероксиддисмутазы Cu-CCS (SOD1), прежде чем она будет распределена по тканям и органам тела через систему кровообращения, что приведет к достижению гомеостаза по этому микроэлементу [15].

Добавки с высоким содержанием меди могут не только регулировать активность различных ферментов, но и улучшать отложение белка и способствовать образованию остеоцитов и остеобластов. Более того, исследования пока-

зали, что рациональное использование диет с высоким содержанием меди может улучшить структуру и функцию кишечника [16, 17]. Тем не менее стимулирующие рост эффекты высокого содержания микроэлемента в пище зависят от стадии роста свиней. Кроме того, длительное кормление рационами с медью и увеличение ежедневного потребления химического элемента может снизить благотворное влияние на показатели роста свиней, а в некоторых случаях привести к летальным последствиям [18]. Это связано с тем, что длительное высокое потребление меди может нарушить гомеостаз, увеличив тем самым экспрессию воспалительных факторов. Во время переваривания химуса данный элемент напрямую взаимодействует с клетками кишечного эпителия, из-за чего образуется большое количество гидроксильных радикалов, что вызывает окислительное повреждение эпителиальных клеток кишечника [19].

Добавки меди могут изменить структуру и функции кишечного тракта и среду, в которой питаются кишечные микроорганизмы. Кроме того, непрерывное потребление подобных рационов постепенно увеличивает накопление меди в печени. Когда достигается предел, это может вызвать фиброз, который серьезно влияет на транспортировку и хранение микроэлемента в органе [20]. Затем избыток меди поступает в систему кровообращения и транспортируется и/или откладывается в другие ткани и органы, такие как почки, роговица глаза, яичники и яички. Кроме того, часть меди пересекает гематоэнцефалический барьер (ГЭБ) и попадает в нервные центры гипоталамуса и гипофиза [21].

Цель работы – оценить влияние породы на накопление меди в печени свиней, разводимых в Западной Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследованы пробы печени свиней кеме-ровской, скороспелой мясной (СМ-1) и ландрасской пород в возрасте 6–7 месяцев. Пробы органов были отобраны непосредственно после убоя животных.

В Новосибирской области и Кузбассе проводится постоянный мониторинг воды, почвы, кормов, органов и тканей сельскохозяйственных животных. Показано, что в районах, в которых разводились исследуемые породы, содержание макро- и микроэлементов не превышало ПДК [22].

Изучение элементного состава паренхиматозного органа проводилось на базе аналитического центра коллективного пользования Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук методом атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной и электротермической атомизацией на спектрометре SOLAAR M6 (США) согласно ГОСТ 26929-94 Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов [23].

Для анализа брали навеску пробы массой 10 г, измельчали до монодисперсного состояния посредством механической автоматической мельницы IKA A11 basic (Германия) и помещали в кварцевую чашу. Затем чашу с получившейся субстанцией ставили в сушильный шкаф на 10 мин, температура которого доведена до 150 °С, для удаления избытка влаги. После этого мясную навеску пробы еще раз взвешивали и отбирали в кварцевую чашу 1 г. Ставили чашу в муфельную печь, разогретую до 250 °С. Для получения золы пробу обугливали в электропечи в течение 10–15 мин при

температуре 450 °С. После этого пробу вынимали и охлаждали до комнатной температуры, затем растворяли содержимое в 1 мл HNO₃ марки ОСЧ. Впоследствии ставили пробу в сушильный шкаф при температуре 140 °С для выпаривания кислоты. Получившийся остаток переносили в мерную колбу на 50 мл, разбавляли 25 мл дистиллированной воды и затем проводили анализ.

При анализе исходных данных использовали методы вариационной статистики. Все показатели проверяли на нормальность распределения при помощи критерия Шапиро-Уилка (W). По каждому параметру определяли \bar{X} – среднюю арифметическую, $\pm SE$ – ошибку средней, σ – среднее квадратическое отклонение, Q1 и Q3 – первый и третий квартили, IQR – межквартильный размах, lim – минимальное и максимальное значение признака. Межквартильный размах (IQR) вычисляли как разность между третьим и первым квартилями.

По полученным результатам для наглядности строили график «ящик с усами».

В качестве метода проверки равенства медиан нескольких выборок при учете ненормального распределения использовали критерий Краскела-Уоллиса.

Для ненормально распределенных признаков использовали метод, разработанный для небольших ($15 < n < 70$) выборок независимо от характера распределения [24]:

$$\bar{x} \approx \frac{a + 2m + b}{4} + \frac{a - 2m + b}{4n},$$

$$\sigma^2 \approx \frac{1}{n-1} \left(a^2 + m^2 + b^2 + \left(\frac{n-3}{2} \right) \frac{(a+m)^2 + (m+b)^2}{4} - n \left(\frac{a+2m+b}{4} + \frac{a-2m+b}{4n} \right)^2 \right),$$

где n – величина выборки;

a – минимальное значение признака;

b – максимальное значение признака;

m – медиана;

\bar{x} – средняя арифметическая;

σ^2 – дисперсия.

Для оценки сходства печени животных по содержанию меди строили кластерную дендрограмму.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием свободно распространяемого программного обеспечения на языке R (RStudio 2023.03.0+386, PBC).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Токсичность добавок с высоким содержанием меди может привести к дисфункции клеток печени из-за повреждения окислительным стрессом, вызванного свободными радикалами, снижению активности антиоксидантных

ферментов гепатоцитов и смерти из-за гепатотоксичности. Возникновение дисфункции гепатоцитов или их гибель указывают на то, что паренхиматозный орган не может запастись большое количество микроэлемента в результа-

те патологического состояния, характеризующегося большой концентрацией микроэлемента в сыворотке крови [25, 26].

В табл. 1 приведены средние значения содержания меди в печени свиней.

Таблица 1

Содержание меди в печени свиней, мг/кг
Copper content in pig liver, mg/kg

Порода	n	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	σ	Me	Lim
Кемеровская	22	10,30±1,59	7,46	8,18	5,5-35
СМ-1	17	25,20±3,58	14,8	17,5	9,6-58,3
Ландрас	20	6,84±0,33	1,48	6,95	5-9,5

Установлено, что нормальное распределение было выявлено только у породы ландрас ($W = 0,94$). Ранжированность признака выглядела следующим образом: СМ-1 > кемеровская > ландрас в соотношении 3,68 : 1,50 : 1,00.

Концентрация меди в печени является наиболее надежным индикатором общего состояния микроэлемента в организме животного,

который основан на том, что 50–60% меди в организме находится в этом паренхиматозном органе, поскольку именно печень выступает одним из главных депо для данного микроэлемента [27, 28].

В табл. 2 приведена изменчивость уровня меди в печени свиней.

Таблица 2

Изменчивость уровня меди в печени свиней, мг/кг
Variability of copper levels in pig liver, mg/kg

Порода	n	Q_1	Q_3	IQR
Кемеровская	22	6,39	10,3	3,88
СМ-1	17	15,0	36,9	21,9
Ландрас	20	5,42	7,82	2,39

Наибольшая изменчивость микроэлемента наблюдалась у кемеровской породы, наименьшая — у породы ландрас. Максимальное содержание меди отмечалось у скороспелой мясной породы, минимальное — у породы ландрас. Согласно зарубежным источникам, уровни содержания меди в печени свиней следующие: дефицит — 0,30–1,02, пограничное — 4,0–7,0, допустимое — 5,0–25,0, высокое — 15,0–200,0, хроническая токсичность — 150,0–15000,0 мг/кг [29]. Если судить по этим данным, то концентрация микроэлемента в печени свиней в нашем исследовании по всем трем породам укладывается в допустимые уровни. Следует также отметить, что содержание меди в суб-

продуктах не нормируется в нашей стране санитарными правилами и нормами или иными нормативными документами.

Чрезмерное потребление корма с высоким содержанием меди может привести к окислению ионов железа, что обуславливает образование большого количества радикалов супероксидного аниона во многих тканях свиней. При этом нарушается структура липидной мембраны, снижается активность антиоксидантных ферментов и, как следствие, резистентность у животных [30, 31].

На рис. 1 графически отображены представленные в табл. 1 и 2 данные.

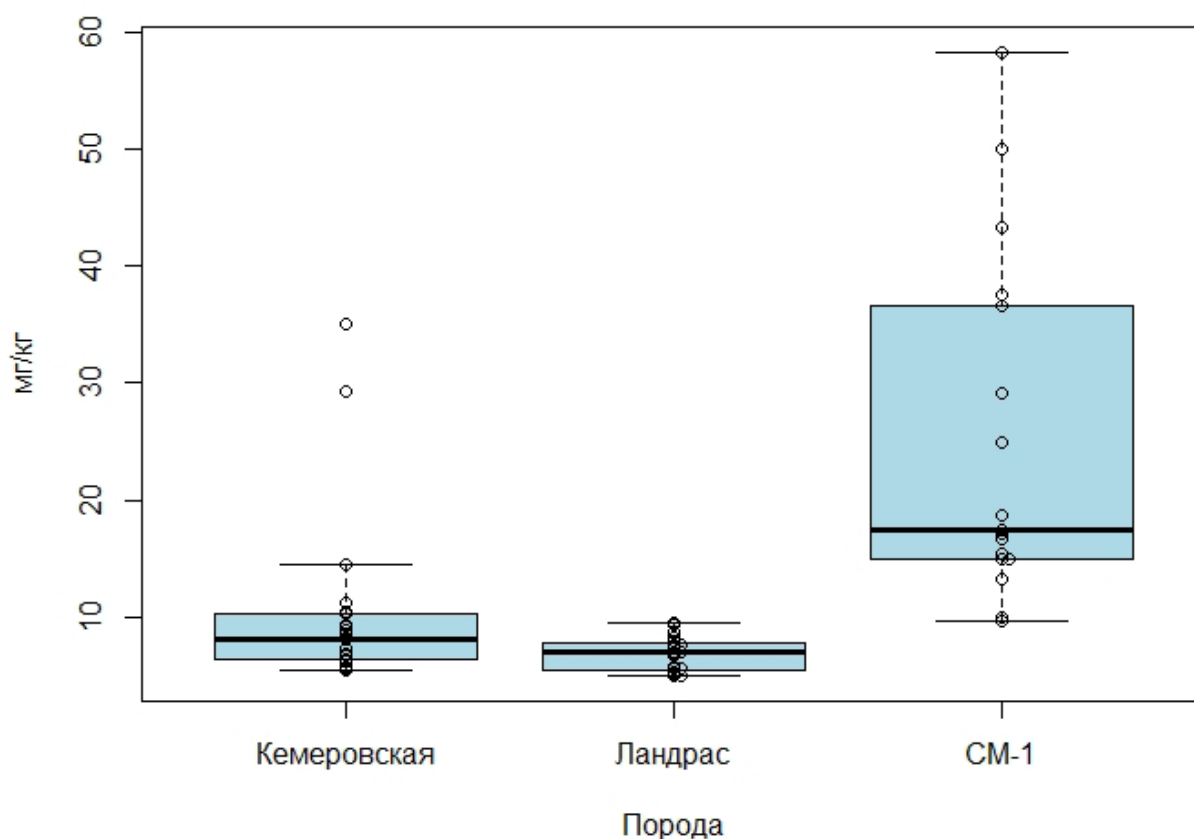


Рис. 1. График «ящик с усами» концентрации меди в печени свиней разных пород

Box and whisker plot of copper concentrations in the liver of pigs of different breeds

Из рисунка видно, что уровень меди в печени свиней породы ландрас характеризуется меньшим межквартильным размахом по отношению к кемеровской и скороспелой мясной.

Следующим шагом следовало оценить характер распределения микроэлемента в печени свиней разных пород. Выделено два кластера по аккумуляции меди в печени свиней (рис. 2).

Первый кластер представляет скороспелая мясная порода. Во второй кластер включены кемеровская и ландрасская породы. Любопытным является тот факт, что кемеровская порода оказалась не так тесно связана со скороспелой мясной несмотря на то, что при создании СМ-1 использовали животных кемеровского мясного типа (КМ-1) и универсального типа кемеровской породы.

На генетическую детерминацию уровня тяжелых металлов в органах и тканях указыва-

ют межвидовые различия, влияние генофонда семейств и линий [32].

Полученные данные свидетельствуют о роли наследственности в уровне содержания меди в паренхиматозном органе свиней.

Особенно важно изучать концентрацию меди и других металлов в регионах промышленного загрязнения этими микроэлементами [33]. Известно, что дефицит меди вызывает поражение центральной нервной системы, приводя к демиелинизации клеток спинного мозга [34]. Для производства экологически безопасной продукции важен поиск прижизненных неинвазивных или малоинвазивных маркеров накопления меди и других металлов в органах и тканях. Это позволит при необходимости корректировать рационы [35].

В табл. 3 представлены данные по уровню меди в печени свиней в виде разности между тремя породами.

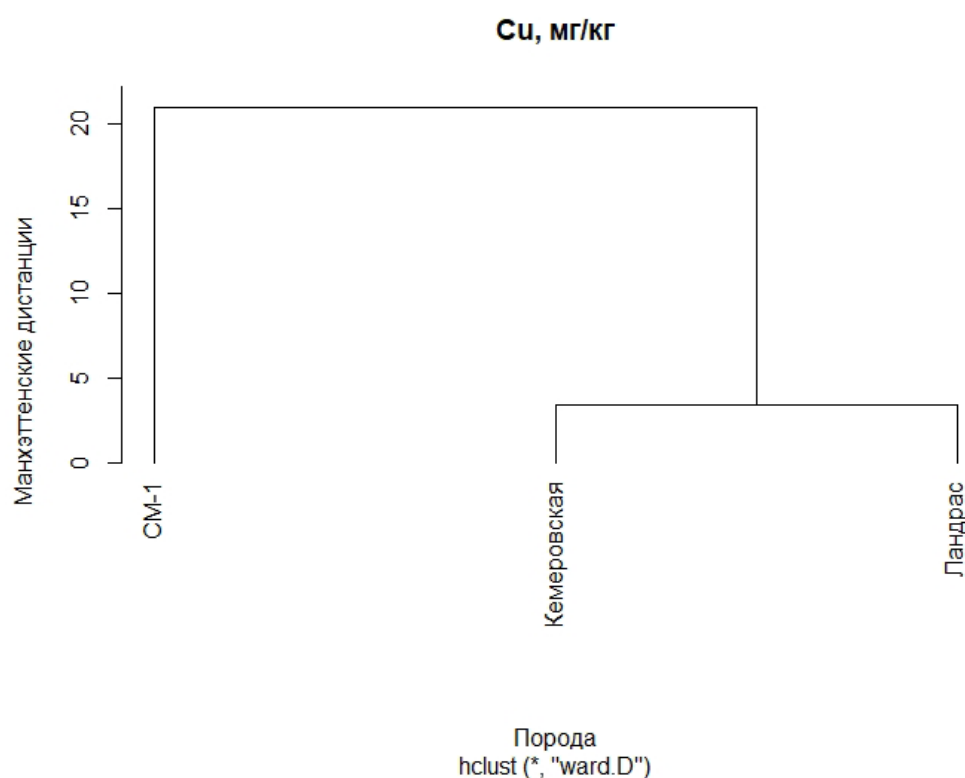


Рис. 2. Кластерная дендрограмма распределения уровня меди в печени свиней

Cluster dendrogram of copper level distribution in pig liver

Таблица 3

Концентрация меди в печени свиней трех пород, мг/кг
The concentration of copper in the liver of pigs of three breeds, mg/kg

Порода		Cu	
Кемеровская	± скороспелая мясная	10,3	+14,9*
	± ландрас		-3,46*
Ландрас	± скороспелая мясная	6,84	+18,36*

* P<0,05.

Выявлены межпородные различия по содержанию меди в печени свиней. Таким образом, скороспелая мясная порода по концентрации меди в этом паренхиматозном органе преобладала над кемеровской и ландрасской породами — на 14,9 и 18,36 мг/кг соответственно.

ВЫВОДЫ

1. Установлено влияние генофонда породы на аккумуляцию меди в печени свиней. Средние концентрации меди в печени свиней

разных пород, были ранжированы следующим образом: СМ-1 > кемеровская > ландрас в отношении 3,68 : 1,50 : 1,00.

2. Уровень микроэлемента в паренхиматозном органе имел довольно высокую вариабельность. Полученные данные могут быть приняты в качестве физиологической нормы для свиней, разводимых в Западной Сибири.

3. Выявлены фенотипические дистанции между породами по содержанию меди в печени. При группировке были выделены два кластера, из которых в первый входила скороспелая мясная, во второй — кемеровская и ландрасская породы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башлакова О.И. Проблемы экологической безопасности России // Вестник МГИМО университета. – 2015. – № 3(42). – С. 112–121.
2. Генофонд и фенофонд сибирской северной породы и черно-пестрой породной группы свиней / В.Л. Петухов, В.Н. Тихонов, А.И. Желтиков [и др.]. – Новосибирск: Прометей, 2012. – 579 с.
3. *Selective constraints in cold-region wild boars may defuse the effects of small effective population size on molecular evolution of mitogenomes* / J. Chen, P. Ni, T.N. Thi Tran, E.V. Kamalidinov [et al.] // *Ecology and Evolution*. – 2018. – Vol. 8, N 16. – P. 8102–8114.
4. Патент № 2270562 С2 Российская Федерация, МПК А01К 67/02. Способ сохранения редких и исчезающих пород животных: заявл.05.05.2004: опубл. 27.02.2006 / В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст, А.И. Желтиков [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО «Новосибирский ГАУ». – 8 с.
5. Патент № 2761031 С1 Российская Федерация, МПК G01N 33/48. Способ определения уровня цинка в почках свиней: № 2021101423: заявл. 22.01.2021: опубл. 02.12.2021 / О.А. Зайко, А.В. Назаренко, О.И. Себежко [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО «Новосибирский ГАУ». – 6 с.
6. Патент № 2762614 С1 Российская Федерация, МПК G01N 33/48. Способ определения уровня железа в печени свиней: № 2021107856: заявл. 23.03.2021: опубл. 21.12.2021 / О.А. Зайко, Т.В. Коновалова, О.И. Себежко [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО «Новосибирский ГАУ». – 6 с.
7. Патент № 2285920 С1 Российская Федерация, МПК G01N 33/48. Способ определения содержания свинца в органах свиней: № 2005102873/15: заявл. 04.02.2005: опубл. 20.10.2006 / В.Л. Петухов, С.А. Патрашков, О.С. Короткевич [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО «Новосибирский ГАУ». – 8 с.
8. Патент № 2342659 С1 Российская Федерация, МПК G01N 33/50. Способ определения содержания кадмия в органах и мышечной ткани свиней: № 2007111437/15: заявл. 28.03.2007: опубл. 27.12.2008 / В.Л. Петухов, О.А. Желтикова, А.И. Желтиков [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО «Новосибирский ГАУ». – 7 с.
9. Патент № 2791231 С1 Российская Федерация, МПК G01N 33/50. Способ определения содержания марганца в печени свиней: № 2022109749: заявл. 11.04.2022: опубл. 06.03.2023 / О.А. Зайко, А.В. Назаренко, Т.В. Коновалова [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО «Новосибирский ГАУ». – 8 с.
10. *Biochemical, hematological and mineral parameters in pigs of two breeds reared in large industrial complexes of Western Siberia* / O.I. Sebezshko, O.S. Korotkevich, T.V. Konovalova [et al.] // *Proceedings of the 3rd International Symposium for Agriculture and Food*. – ISAF, 2017. – P. 100.
11. *Проблемы селекции сельскохозяйственных животных* / Б.Л. Панов, В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст [и др.]. – Новосибирск: Наука. Сиб. предпр. РАН, 1997. – 283 с.
12. Iron content in soil, water, fodder, grain, organs and muscular tissues in cattle of Western Siberia (Russia) / K.N. Narozhnykh, T.V. Konovalova, Y.I. Fedyaev [et al.] // *Indian Journal of Ecology*. – 2017. – Vol. 44, N 2. – P. 217–220.
13. *Andersson K.E. Oxidative stress and its possible relation to lower urinary tract functional pathology* // *BJU International*. – 2018. – № 121(4). – P. 527– 533.
14. *Chase C.C. Enteric immunity: Happy gut, healthy animal* // *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*. – 2018. – N 34 (1). – P. 1–18.
15. *Copper and zinc nutritional issues for agricultural animal production* / G.M. Hill, M.C. Shannon // *Biol. Trace. Elem. Res.* – 2019. – № 188 (1). – P. 148–159.
16. *Effects of Astragalus membranaceus fiber on growth performance, nutrient digestibility, microbial composition, VFA production, gut pH, and immunity of weaned pigs* / D. Che, S. Adams, C. Wei [et al.] // *Microbiology Open*. – 2018. – N 8 (5). – P. e00712.
17. *Effects of super nutritional hepatic copper accumulation on hepatocyte health and oxidative stress in dairy cows* / J.M. Strickland, D. Lyman, L.M. Sordillo [et al.] // *Vet. Med. Int.* – 2019. – P. 3642954.

18. *Copper sulphate forms in piglet diets: Microbiota, intestinal morphology and enteric nervous system glial cells* / A. Di Giancamillo, R. Rossi, P.A. Martino [et al.] // *Animal Science Journal*. – 2018. – N 89 (3). – P. 616–624.
19. *Co-selection of antibiotic resistance via copper shock loading on bacteria from a drinking water bio-filter* / M. Zhang, L. Chen, C. Ye, X. Yu // *Environ. Pollut.* – 2018. – N 233. – P. 132–141.
20. *Acute exposure to organic and inorganic sources of copper: Differential response in intestinal cell lines* / J. Keenan, F. O'Sullivan, M. Henry [et al.] // *Food Science and Nutrition*. – 2018. – N 6. – P. 2499–2514.
21. *Chronic copper exposure elicit neurotoxic responses in rat brain: Assessment of 8-hydroxy-2-deoxyguanosine activity, oxidative stress and neurobehavioral parameters* / J. Kumar, K.B. Sathua, S.J.S. Flora // *Cellular and Molecular Biology (noisy-le-grand)*. – 2019. – N 65. – pp. 27–35.
22. *Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia* / A.I. Syso, M.A. Lebedeva, A.S. Cherevko [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – N 9 (4). – P. 368–374
23. *ГОСТ 26929-94 Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов [Текст].* – Введ. 1996-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 9 с.
24. *Estimation the mean and variance from the median, range and the size of a sample* / S.P. Hozo, B. Djulbegovic, I. Hozo // *BMC Medical Research Methodology*. – 2005. – Vol. 5 (1). – P. 13.
25. *The function of ATPase copper transporter ATP7B in intestine* / H. Pierson, A. Muchenditsi, B.E. Kim [et al.] // *Gastroenterology*. – 2018. – N 154 (1). – P. 168–180.
26. *Excessive copper in feed not merely undermines animal health but affects food safety* / Z. Ma, Y. Li, Z. Hanb [et al.] // *J. Vet. Sci.* – 2021. – N 22 (3). – P. 31.
27. *Role of the gut microbiota in nutrition and health* / A.M. Valdes, J. Walter, E. Segal, T.D. Spector // *British Medical Journal*. – 2018. – N 361. – P. k2179.
28. *Advances in the mechanism of high copper diets in restraining pigs growth* / Y. Gao, W. Yang, D. Che [et al.] // *J Anim. Physiol. Anim. Nutr.* – 2020. – N 104. – P. 667–678.
29. *Puls R. Mineral Levels in Animal Health: Diagnostic Data* // *Sherpa International*. – 1994. – Vol. 2. – P. 356.
30. *A review on heavy metals contamination in soil: effects, sources, and remediation techniques* / C. Li, K. Zhou, W. Qin // *Soil and Sediment Contamination: an International Journal*. – 2019. – Vol. 28. – P. 380–394.
31. *Digestibility and metabolism of copper in diets for pigs and influence of dietary copper on growth performance, intestinal health, and overall immune status: a review* / C.D. Espinosa, H.H. Stein // *J. Animal Sci. Biotechnol.* – 2021. – N 12. – P. 13.
32. *Зайко О.А. Изменчивость и корреляции химических элементов в органах и тканях свиней скороспелой мясной породы СМ-1: дис. ... канд. биол. наук.* – Новосибирск, 2014. – 182 с.
33. *Особенности аккумуляции меди в щетине свиней различных пород* / О.А. Зайко, А.В. Назаренко, И.А. Королева [и др.] // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 90–98.
34. *Different sources of copper effect on intestinal epithelial cell: toxicity, oxidative stress, and metabolism* / R. Li, Y. Wen, G. Lin [et al.] // *Metabolites*. – 2019. – N 10 (1). – P. 11.
35. *Назаренко А.В. Сравнительная характеристика уровня Fe и Cu в мышечной ткани свиней разных пород* // *Кормопроизводство, продуктивность, долголетие и благополучие животных: материалы междунар. науч.-практ. конф., Новосибирск, 25 окт. 2018 г.* – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2018. – С. 44–47.

REFERENCES

1. Bashlakova O.I., *Vestnik MGIMO universiteta*, 2015, No. 3 (42), pp. 112–121. (In Russ.)
2. Petukhov V.L., Tikhonov V.N., Zheltikov A.I., Korotkevich O.S., Kamaldinov E.V., Fridcher A.A., *Genofond i fenofond sibirskoj severnoj porody i cherno-pestroj porodnoj gruppy svinej* (Gene pool and phenopool of the Siberian northern breed and black-and-white breed group of pigs), *Novosibirsk: Prometei*, 2012, 579 p. (In Russ.)

3. Chen J., Ni P., Thi Tran T.N., Kamaldinov E.V., Petukhov V.L., Han J., Liu X., Šprem N., Zhao S., Selective constraints in cold-region wild boars may defuse the effects of small effective population size on molecular evolution of mitogenomes, *Ecology and evolution*, 2018, Vol. 8, No. 16, pp. 8102–8114.
4. Patent № 2270562 C2 Rossijskaja Federacija, MPK A01K 67/02. Sposob sokhraneniya redkikh i ischezayushchikh porod zhivotnykh, № 2270562, 2004, zayavl. 05.05.2004, opubl. 27.02.2006 / Petukhov V.L., Ernst L.K., Zheltikov A.I. [et al.]; zayavitel' FGBOU VO «Novosibirskij GAU», 8 p. (In Russ.)
5. Patent № 2761031 C1 Rossijskaja Federacija, MPK G01N 33/48. Sposob opredeleniya urovnja cinka v pochkah svinej: № 2021101423: zayavl. 22.01.2021: opubl. 02.12.2021 / O.A. Zajko, A.V. Nazarenko, O.I. Sebezhko [et al.]; zayavitel' FGBOU VO «Novosibirskij GAU», 6 p. (In Russ.)
6. Patent № 2762614 C1 Rossijskaja Federacija, MPK G01N 33/48. Sposob opredeleniya urovnja zheleza v pečeni svinej: № 2021107856: zayavl. 23.03.2021: opubl. 21.12.2021 / O.A. Zajko, T.V. Konovalova, O.I. Sebezhko [et al.]; zayavitel' FGBOU VO «Novosibirskij GAU». 6 p. (In Russ.)
7. Patent № 2285920 C1 Rossijskaja Federacija, MPK G01N 33/48. sposob opredeleniya sodержaniya svinca v organah svinej: № 2005102873/15: zayavl. 04.02.2005: opubl. 20.10.2006 / V.L. Petukhov, S.A. Patrashkov, O.S. Korotkevich [et al.]; zayavitel' FGBOU VO «Novosibirskij GAU», 8 p. (In Russ.)
8. Patent № 2342659 C1 Rossijskaja Federacija, MPK G01N 33/50. Sposob opredeleniya sodержaniya kadmija v organah i myshechnoj tkani svinej: № 2007111437/15: zayavl. 28.03.2007: opubl. 27.12.2008 / V.L. Petukhov, O.A. Zheltikova, A.I. Zheltikov [et al.]; zayavitel' FGBOU VO «Novosibirskij GAU», 7 p. (In Russ.)
9. Patent № 2791231 C1 Rossijskaja Federacija, MPK G01N 33/50. Sposob opredeleniya sodержaniya marganca v pečeni svinej: № 2022109749: zayavl. 11.04.2022: opubl. 06.03.2023 / O.A. Zaiko, A.V. Nazarenko, T.V. Konovalova [et al.]; zayavitel' FGBOU VO «Novosibirskij GAU», 8 p. (In Russ.)
10. Sebezhko O.I., Korotkevich O.S., Konovalova T.V., Biryulya I.K., Petukhov V.L., Kamaldinov E.V., Narozhnykh K.N., Osadchuk L.V., Biochemical, hematological and mineral parameters in pigs of two breeds reared in large industrial complexes of Western Siberia, *Proceedings of the 3rd International Symposium for Agriculture and Food, ISAF*, 2017, pp. 100.
11. Panov B.L., Petukhov V.L., Ernst L.K. [et al.], *Problemy selekcii sel'skohozjajstvennykh zhivotnykh* (Problems of selection of farm animals), Novosibirsk: Nauka, 1997, 283 p.
12. Syso A.I., Lebedeva M.A., Cherevko A.S., [et al.], Iron content in soil, water, fodder, grain, organs and muscular tissues in cattle of Western Siberia (Russia), *Indian Journal of Ecology*, 2017, Vol. 9, No. 4, pp. 368–374.
13. Andersson K.E., Oxidative stress and its possible relation to lower urinary tract functional pathology, *BJU International*, 2018, No. 121(4), pp. 527–533.
14. Chase C.C., Enteric immunity: Happy gut, healthy animal, *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 2018, No. 34 (1), pp. 1–18.
15. Hill G.M., Shannon M.C., Copper and zinc nutritional issues for agricultural animal production, *Biol. Trace. Elem. Res.*, 2019, No. 188 (1), pp. 148–159.
16. Che D., Adams S., Wei C., Gui-Xin Q., Atiba E.M., Hailong J., Effects of Astragalus membranaceus fiber on growth performance, nutrient digestibility, microbial composition, VFA production, gut pH, and immunity of weaned pigs, *Microbiology Open*, 2018, No. 8 (5), P. e00712.
17. Strickland J.M., Lyman D., Sordillo L.M., Herdt T.H., Buchweitz J.P., Effects of super nutritional hepatic copper accumulation on hepatocyte health and oxidative stress in dairy cows, *Vet. Med. Int.*, 2019, P. 3642954.
18. Di Giancamillo A., Rossi R., Martino P.A., Aidos L., Maghin F., Domeneghini C., Corino C., Copper sulphate forms in piglet diets: Microbiota, intestinal morphology and enteric nervous system glial cells, *Animal Science Journal*, 2018, No. 89 (3), pp. 616–624.
19. Zhang M., Chen L., Ye C., Yu X., *Environ. Pollut.*, 2018, No. 233, pp. 132–141.

20. Keenan J., O'Sullivan F., Henry M., Breen L., Doolan P., Sinkunaite I., Murphy R., Food Science and Nutrition, 2018, No. 6, pp. 2499–2514.
21. Kumar J., Sathua K.B., Flora S.J.S., Cellular and Molecular Biology (noisy-le-grand), 2019, No. 65, pp. 27–35.
22. Syso A.I., Lebedeva M.A., Cherevko A.S., Petukhov V.L., Sebezhko O.I., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N., Kamaldinov E.V., Sokolov V.A., Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia, Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 2017, Vol. 9, No. 4, pp. 368–374.
23. GOST 26929-94, Moscow: Izdatel'stvo standartov, 2002, 9 p. (In Russ.)
24. Hozo S.P., Djulbegovic B., Hozo I., Estimation the mean and variance from the median, range and the size of a sample BMC Medical Research Methodology, 2005, Vol. 5 (1), pp. 13.
25. Kim B.E., Ralle M., Zachos N., Huster D., Lutsenko S., The function of ATPase copper transporter ATP7B in intestine, Gastroenterology, 2018, No. 154 (1), pp. 168–180.
26. Ma Z., Li Y., Han Z., Liu Z., Wang H., Meng F., Liu S., Chen D., Liu M., Excessive copper in feed not merely undermines animal health but affects food safety, J. Vet. Sci, 2021, No. 22 (3), P. 31.
27. Valdes A.M., Walter J., Segal E., Spector T.D. Role of the gut microbiota in nutrition and health, British Medical Journal, 2018, No. 361, P. k2179.
28. Gao Y., Yang W., Che D., Adams S., Yang L., Advances in the mechanism of high copper diets in restraining pigs growth, J Anim. Physiol. Anim. Nutr, 2020, No. 104, pp. 667–678.
29. Puls R., Mineral Levels in Animal Health: Diagnostic Data, Sherpa International, 1994, Vol. 2, P. 356.
30. Li C., Zhou K., Qin W., A review on heavy metals contamination in soil: effects, sources, and remediation techniques, Soil and Sediment Contamination: an International Journal, 2019, Vol. 28, pp. 380–394.
31. Espinosa C.D., Stein H.H., Digestibility and metabolism of copper in diets for pigs and influence of dietary copper on growth performance, intestinal health, and overall immune status: a review, J. Animal Sci. Biotechnol, 2021, No. 12, pp. 13.
32. Zaiko O.A., Izmenchivost' i korrelyatsii himicheskikh jelementov v organah i tkanjah svinej skorospeloj mjasnoj porody SM-1 (Variability and correlations of chemical elements in the organs and tissues of pigs of the early ripening meat breed SM-1), Candidates thesis, Novosibirsk, 2014, 182 p. p
33. Zaiko O.A., Nazarenko A.V., Koroleva I.A., Romanenko M.A., Mager S.N., Sibirskij vestnik sel'skohozjajstvennoj nauki, 2021, Vol. 51, No. 1, pp. 90–98. (In Russ.)
34. Li R., Wen Y., Lin G., Meng C., He P., Wang F., Different sources of copper effect on intestinal epithelial cell: toxicity, oxidative stress, and metabolism, Metabolites, 2019, No. 10 (1), pp. 11.
35. Nazarenko A.V., Kormoproizvodstvo, produktivnost', dolgoletie i blagopoluchie zhivotnyh (Feed production, productivity, longevity and animal welfare), Proceedings of the Conference Title, Novosibirsk: Izdatel'skij centr NGAU «Zolotoj kolos», 2018, pp. 44–47. (In Russ.)

DOI: 10.31677/2072-6724-2023-68-3-272-278

УДК 619: 616. 995. 428: 636 (571. 14)

ДЕМОДЕКОЗ ДОМАШНИХ ПЛОТОЯДНЫХ ЖИВОТНЫХ, ВСТРЕЧАЕМОСТЬ, ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТЬ, ФОРМЫ ПРОЯВЛЕНИЯ БОЛЕЗНИ

Н.В. Рыбин, преподаватель

Я.В. Новик, кандидат ветеринарных наук

Е.А. Лазурина, студент

Е.Р. Рогожкина, студент

Л.П. Ермакова, кандидат ветеринарных наук

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: rybin.nikolai@inbox.ru

Ключевые слова: демодекоз, плотоядные животные, акариформные клещи, железница, чесотка, собаки, источник инвазии, вид, возраст, сезонная предрасположенность.

Реферат. Проведена работа по изучению заболеваемости демодекозом домашних кошек и собак на территории г. Новосибирска. Мы осуществили сбор данных и изучили заболеваемость демодекозом домашних плотоядных животных с учетом сезона года, возраста животного, а также видовой принадлежности. Демодекоз в основном встречается у собак, у кошек очень редко. Мониторинг встречаемости демодекоза плотоядных на территории г. Новосибирска, за последние 5 лет показал динамику роста заболеваемости им домашних кошек и собак. Данные по возрастной предрасположенности животных к акарозам свидетельствуют о более частой встречаемости их у пациентов в категориях: до 1 года и от 1 до 3 лет, т. е. животных молодого возраста. Изучение сезонной динамики заболеваемости домашних плотоядных животных демодекозом показало, что пик заболеваемости приходится на осенний период года. Это связано со снижением иммунной резистентности организма пациентов, а также с погодными факторами (колебаниями температуры, влажности воздуха) и предшествующим периодом высокой активности и контактов животных между собой в теплый период года. Кроме того, мы изучили встречаемость животных с различными формами заболевания: чешуйчатая, пустулезная, папулезная, а также локальная и генерализованная. Уделили особое внимание течению болезни, оценив состояние организма в зависимости от клинической формы. Наибольшее число пациентов поступало на лечение в клинику с чешуйчатой формой демодекоза, в то время как пустулезная и папулезная формы наблюдались гораздо реже. По степени поражения кожи локальный демодекоз превалировал над генерализованной формой болезни, причем как у собак, так и у кошек. У собак формы течения болезни значительно отличались от таковых у кошек. Исходя из данных статистики, можно сделать вывод о большем разнообразии форм течения демодекоза у собак.

DEMODECOSIS IN DOMESTIC CARNIVORES, INCIDENCE, PREDISPOSITION, FORMS OF DISEASE MANIFESTATION

N.V. Rybin, Lecturer

I'M IN. Novik, PhD in Veterinary Sciences

E.A. Lazurina, Student

E.R. Rogozhkina, Student

L.P. Ermakova, Ph.D. in Veterinary Sciences

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: rybin.nikolai@inbox.ru

Keywords: demodicosis, carnivores, acariform mites, iron mites, scabies, dogs, source of invasion, species, age, seasonal predisposition.

Abstract. Work has been carried out to study the incidence of demodicosis in domestic cats and dogs in Novosibirsk. We collected data and examined the incidence of demodicosis in domestic carnivores, considering the year's season, the age of the animal, and the species. Demodicosis mainly occurs in dogs but very rarely in cats. Monitoring the occurrence of demodicosis of carnivores in the city of Novosibirsk over the past five years has shown the dynamics of the increase in the incidence of it in domestic cats and dogs. Data on the age-related

predisposition of animals to acarosis indicate their more frequent occurrence in patients in the categories of up to 1 year and from 1 to 3 years, i.e., young animals. A study of the seasonal dynamics of the incidence of demodicosis in domestic carnivores showed that the peak incidence occurs in the autumn period of the year. This is due to a decrease in the immune resistance of the patient's body, weather factors (fluctuations in temperature, air humidity) and the previous period of high activity and contact between animals during the warm period of the year. In addition, we studied the occurrence of animals with various forms of the disease: scaly, pustular, papular, as well as local and generalised. We paid particular attention to the course of the disease, assessing the body's condition depending on the clinical form. Most patients were admitted for treatment to the clinic with the scaly form of demodicosis, while pustular and papular forms were observed much less frequently. Regarding the degree of skin damage, local demodicosis prevailed over the generalised form of the disease in dogs and cats. In dogs, the disease conditions were significantly different from those in cats. Based on statistical data, we can conclude that there is a greater variety of forms of demodicosis in dogs.

Демодекоз (Demodicosis), «железница» — это инвазионная болезнь собак и кошек, вызванная клещом рода *Demodex* сем. Demodicidae, сопровождающаяся местным или генерализованным поражением кожи [1, 2].

Проблема демодекоза плотоядных животных актуальна в связи со сложностью лечения заболевания, а также высокой численностью бродячих животных на территории г. Новосибирска. Несмотря на наличие современных препаратов, способных быстро и эффективно уничтожить возбудителя, остается большое количество домашних собак и кошек, которые проживают в условиях антисанитарии и не получают необходимого внимания со стороны владельцев [3, 4].

Ветеринарные специалисты, которые довольно часто встречаются с больными демодекозом животными, вынуждены постоянно искать пути решения проблемы в условиях высокой стоимости лечения болезни и длительности терапии [5, 6].

В последние годы отмечена тенденция к увеличению распространения демодекоза, хотя еще недавно мы наблюдали снижение численности больных животных в годовой динамике, о чем свидетельствуют данные А.М. Титаренко, А.В. Пригодиной, И.Е. Рогозиной, М.А. Костылевой, Т.С. Катаевой и др., которые занимались изучением заболеваемости акарозами домашних животных и демодекозом в том числе в начале «нулевых» годов нашего века. Таким образом, можно проследить некую цикличность течения демодекоза у животных [7, 8].

Большое количество больных демодекозом животных в целом обусловлено постоянным повышением поголовья собак и кошек, в том числе увеличением популяции бродячих животных, несмотря на широкое распространение частных приютов, уровень санитарии в которых зачастую также оставляет желать лучшего [9].

Демодекоз имеет не только ветеринарное, но и социальное значение. Лечение заболевания длительное, а для владельцев это масса психологических и материальных проблем [10, 11]. Зачастую демодекоз диагностируют поздно, в том числе по причине схожести заболевания с другими патологиями кожи [12].

Следует отметить, что в последние годы в Новосибирске научные исследования по данной проблеме практически не проводились [13–15].

Целью нашей работы является изучение эпизоотической обстановки по демодекозу собак и кошек на территории г. Новосибирска с 2018 по 2022 г. по данным ветеринарной клиники «Ветлекарь» Заельцовского района. Были поставлены следующие задачи:

1. Определить место демодекоза по заболеваемости среди акарозов домашних плотоядных животных.
2. Определить видовую приуроченность болезни.
3. Выявить число пациентов с различными формами течения болезни.
4. Проанализировать сезонность демодекоза.
5. Провести анализ возрастной динамики заболеваемости демодекозом.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Нами выполнены обследования больных животных, а также проведен ретроспективный анализ на базе ветеринарной клиники «Ветлекарь» г. Новосибирска. Были изучены истории болезней 282 животных за последние 5 лет (в период с 2018 по 2022 г.), все они были подвергнуты исследованию на акарозы, но диагноз подтвердился только у 108 животных ввиду схожести клинической картины большинства патологий кожи. Все эти пациенты прошли лечение на базе клиники, из числа под-

вергнутых лечению животных было 69 кошек и 39 собак.

При изучении особенностей эпизоотической обстановки по данным ветеринарной клиники необходимо учитывать отсутствие животных из частного сектора, из чего следует, что все подвергнутые лечению пациенты содержались в квартирных условиях, что обеспечивало практически полное отсутствие контактов с бродячими кошками и собаками. Это обуславливает малое количество инвазированных клещами, несмотря на очень высокую посещаемость клиники за отчетный период. Всего с акарозами поступило 108 животных, из которых 69 кошек и 39 собак, из них больных демодекозом было 28 животных, среди которых 21 собака и 7 кошек. Первое животное поступило на лечение 20 января 2018 г., последнее – 27 декабря 2022 г.

Диагноз ставили только после проведения микроскопии соскоба кожи подозреваемого в заболевании животного. При подозрении

на инвазию возбудителем демодекоза осуществляли глубокий соскоб кожи, до появления крови. Далее осуществляли приготовление препарата методом Приселковой, который подвергали последующей микроскопии. Клинические признаки большинства акарозных заболеваний схожи друг с другом и представляют собой зуд, расчесы, беспокойство, корочки из омертвевшего эпидермиса и экссудата на теле животного, поэтому при микроскопировании проводили дифференциацию видов клещей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведенных исследований на базе клиники «Ветлекарь» были выявлены сразу несколько заболеваний домашних плотоядных животных, вызванных акариформными клещами (таблица).

Таблица 1

Средняя многолетняя динамика зараженности акарозами домашних плотоядных животных по данным клиники «Ветлекарь» г. Новосибирска (ЭИ,%)

Average long-term dynamics of acarosis infection in domestic carnivores according to the Vetlekar clinic in Novosibirsk (EI,%)

Заболевание	Вид животного	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Отодектоз	Кошки	11,6	11,6	20,3	13,0	10,1
	Собаки	7,7	12,8	15,4	5,1	5,1
Демодекоз	Кошки	1,4	2,9	2,9	1,4	1,4
	Собаки	5,1	7,7	12,8	15,4	12,8
Саркоптоз	Кошки	2,9	4,3	1,4	4,3	1,4
	Собаки	-	-	-	-	-
Нотоэдроз	Кошки	1,4	1,4	2,9	0	2,9
	Собаки	-	-	-	-	-

По данным, представленным в табл. 1, мы видим, что в клинике «Ветлекарь» по количеству заболевших домашних животных лидирует отодектоз (возбудитель *Otodectes cynotis*), из которых 18 собак и 46 кошек. Экстенсивность инвазии (ЭИ) составила: у кошек – 66,7, у собак – 46,2 %. Демодекоз (возбудители *Demodex canis* и *Demodex cati*) занимает второе место по количеству заболевших животных. Возбудители были обнаружены у 21 собаки и 7 кошек. Экстенсивность инвазии – у кошек –

10,0, у собак – 53,8%. Таким образом, можно отметить, что собаки значительно чаще заболевают демодекозом.

Третим по числу случаев инвазирования у домашних животных был саркоптоз – возбудитель *Sarcoptes scabiei*. Общее число пациентов составило 10 животных, и все кошки. ЭИ – 14,3 %.

Нотоэдроз (возбудитель *Notoedres cati*) – заболевание, которое отмечалось только среди

кошек. Общее число инвазированных – 6 животных, ЭИ – 8,6%.

Формы течения демодекоза различаются в зависимости от характера симптомов заболевания – чешуйчатый (сквамозный), пустулезный и папулезный, и степени распространенности – локальный и генерализованный.

Чешуйчатый демодекоз сопровождался появлением на коже чешуек, и являлся наиболее легкой формой течения заболевания. Пустулезный и папулезный демодекоз характеризуется формированием на коже больного животного патологических изменений – пустул и папул соответственно, и различается преобладанием таковых на коже, в том числе при смешанном появлении этих изменений, именно поэтому данные формы демодекоза часто объ-

единяют между собой при учете клинических проявлений, как мы и поступили.

При локальном поражении кожи животного мы наблюдали не более 5 очагов с диаметром поражения около 2,5 см. При этом чаще были поражены шея, область вокруг глаз, ушная раковина. Генерализованный демодекоз встречался у пациентов с низкой иммунной резистентностью, на фоне бактериальных и аллергических поражений кожи, гормонального дисбаланса, глистной инвазии и характеризовался наличием более 5 поражений и практически на всех участках кожи, включая конечности.

По данным, представленным в табл. 2, можно увидеть число заболевших животных с различными формами демодекоза.

Таблица 2

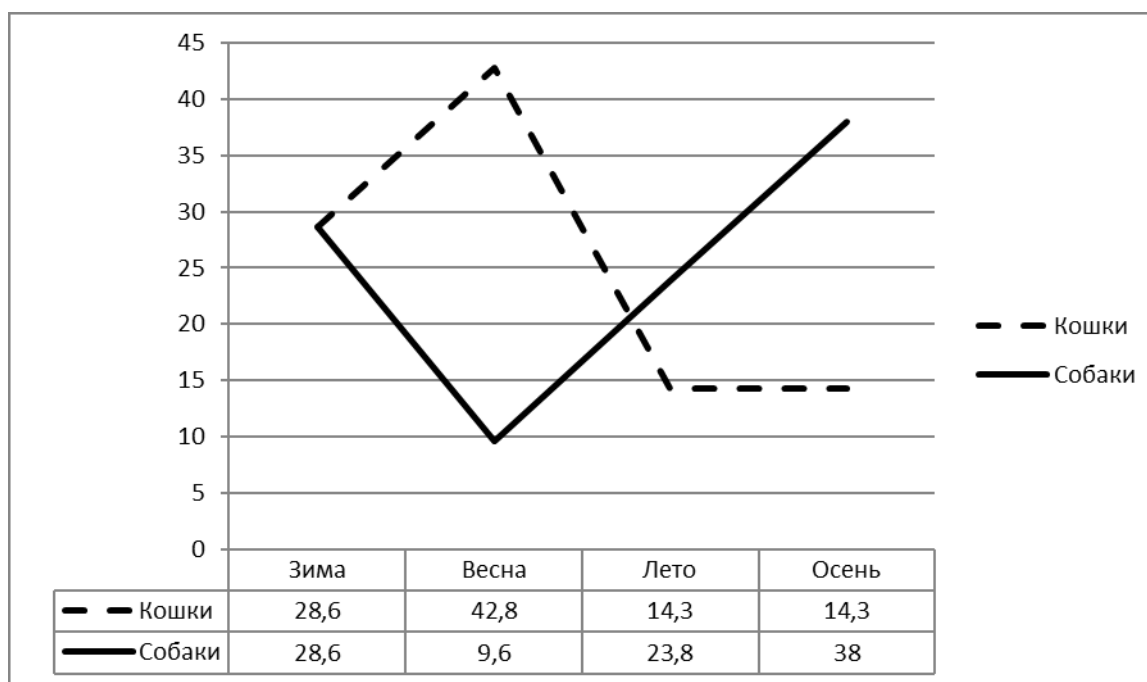
Динамика распространенности клинических форм демодекоза домашних плотоядных животных по данным клиники «Ветлекарь» г. Новосибирска, гол. (%)
Dynamics of the prevalence of clinical forms of demodicosis in domestic carnivores according to the Vetlekar clinic in Novosibirsk, goal. (%)

Форма болезни		Собаки	Кошки
По характеру болезни	Чешуйчатый	17 (80,9)	7 (100,0)
	Пустулезный и папулезный	4 (19,1)	
По степени распространенности	Локальный	18 (85,7)	7 (100,0)
	Генерализованный	3 (14,3)	

По характеру течения у собак демодекоз проявлялся в основном в чешуйчатой (сквамозной) форме – 17 голов (80,9%) и реже пустулезной – 4 животных (19,1%), у кошек – 7 пациентов в 100% случаев мы наблюдали чешуйчатую форму болезни. По степени распространенности у собак в основном встречался локальный демодекоз – 18 пациентов (85,7%), намного реже генерализованный – 3 (14,3%), а у кошек он проявлялся только в локальной форме – 7 животных (100%).

Сезонная встречаемость демодекоза носит различный характер в зависимости от ряда факторов: сезонное снижение иммунной резистентности, изменение влажности воздуха, изменение условий содержания животных. Динамика заболеваемости по сезонам года представлена на рисунке. При исследовании сезонности демодекоза у собак были сделаны

следующие выводы: пиком заболеваемости демодекозом можно считать осенний период 38,0% больных от общего числа (8 пациентов). В годовой динамике это выглядит так: в зимний период мы наблюдаем высокое число заболевших – 28,6% пациентов (6 собак), затем в весенний период резкое снижение численности, всего 9,6% (2 пациента). Новый всплеск заболеваемости в летний период – 23,8% (5 собак) с последующим выходом на максимум осенью – 8 пациентов. У кошек сезонность не прослеживается ввиду малого числа пациентов – 7 животных, однако незначительное повышение заболевших наблюдалось весной. Связать сезонную и годовую динамику заболеваемости воедино за последние 5 лет (в период с 2018 по 2022 г.) не представляется возможным из-за общего небольшого числа больных демодекозом животных.



Сезонная динамика заболеваемости демодекозом домашних кошек и собак по данным клиники «Ветлекарь» г. Новосибирска (%)

Seasonal dynamics of the incidence of demodectosis in domestic cats and dogs according to the Vetlekar clinic in Novosibirsk (%)

Таблица 3

Возрастная динамика заболеваемости демодекозом домашних животных по данным клиники «Ветлекарь» г. Новосибирска, %

Age dynamics of the incidence of demodectosis in domestic animals according to the Vetlekar clinic in Novosibirsk, %

Вид животного	Возраст			
	до 1 года	от 1 до 3 лет	от 3 до 5 лет	от 5 лет и старше
Собаки	42,9	23,8	19,0	14,3
Кошки	28,6	28,6	28,6	14,2

Как показано в табл. 3, большая часть наблюдаемых – это щенки до 1 года – 42,9% (9 пациентов) от общего числа больных демодекозом. Частая заболеваемость щенков связана с постоянным контактом с матерью и другими животными при наличии в доме таковых. С возрастом происходит утолщение и ороговевание эпидермального слоя кожи, формируется иммунитет и заболеваемость снижается. Сравнивая наши исследования с литературными данными, стоит отметить, что демодекоз – одно из самых распространенных и трудно поддающихся лечению кожных заболеваний собак [3, 14]. В дальнейшем мы видим значительное снижение заболеваемости, и в возрастной категории от

1 года до 3 лет число заболевших равно 23,8% (5 пациентов), от 3 до 5 лет еще ниже – 19,0% (4 животных) и у возрастных собак в возрасте старше 5 лет заболеваемость составила 14,3% (3 пациента). Стоит отметить, что у кошек возрастная динамика не прослеживается.

ВЫВОДЫ

1. По данным ветеринарной клиники «Ветлекарь» г. Новосибирска, регистрируются следующие акарозы собак и кошек: отодектоз, демодекоз, саркоптоз, нотоэдроз. При этом демодекоз занимает второе место по заболеваемости домашних кошек и собак.

2. Возбудители демодекоза были обнаружены у 21 собаки и 7 кошек. Экстенсивность инвазии (ЭИ) у собак составила 53,8, у кошек – 10,0%. Таким образом, собаки значительно чаще заболевают демодекозом.

3. По характеру заболевания у собак чешуйчатый (сквамозный) демодекоз был отмечен у 17 пациентов (80,9%), в то время как пустулезный и папулезный – у 4 пациентов (19,1%). У кошек (7 пациентов) в 100% случаев наблюдался чешуйчатый демодекоз.

По степени распространенности у собак локальный демодекоз наблюдался у 18 животных (85,7%), генерализованный – только у 3 пациентов (14,3%). У кошек имел место только локальный демодекоз – 7 животных (100% случаев).

4. Сезонность демодекоза прослеживалась только у собак, пиком инвазии можно считать осенний период времени – 8 пациентов, 38,1% от общего числа инвазированных. Общая картина сезонности: в зимний период высокое число заболевших – 6 пациентов (28,6%), затем в весенний период времени резкое снижение численности, всего 2 пациента (9,5%), новый всплеск заболеваемости в летний период – 5 собак (23,8%) с последующим выходом на максимум осенью.

5. Исследование возрастной предрасположенности животных к заболеванию демодекозом показало, что заболевают чаще собаки в возрастной категории до 1 года и от 1 до 3 лет, т.е. молодые животные.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Архипов И.А.* Экспериментальная терапия паразитарных болезней. / И. А. Архипов // Проблемы XXI века. – М., 2022. – С. 124–135.
2. *Юнг Д.* Эффективность противопаразитарных препаратов на различные стадии развития клещей и насекомых // Ветеринарный доктор. – 2007. – № 8. – С. 13–15.
3. *Зерба Е.* Инсектицидная активность пиретроидов в ветеринарной практике // Parasitol. Today. – 2018. – № 104. – С. 53–57.
4. *Смирнов А.А.* Препараты на основе синтетических пиретроидов для борьбы с эктопаразитами плотоядных животных. – М.: Вестник науки, 2022 – № 2. – 27 с.
5. *Усманский М.А.* Отодектоз домашних плотоядных животных // Оренбургский научный вестник «Вертикаль». – 2020. – № 34. – С. 42.
6. *Шагаев Д.В., Посашкова Е.С.* Болезни кожи у собак // Ветеринария. – 2004. – № 4. – С. 51–53.
7. *Патерсон С.* Кожные болезни кошек – М., 2008. – 168 с.
8. *Рыбин Н.В., Зубарева И.М., Ерова Л.М.* Особенности эпизоотической ситуации по акарозам домашних плотоядных животных в г. Оби Новосибирской области // Вестник НГАУ. – 2018. – № 34. – С. 115–119.
9. *Бишоп Б., Брюс С.* Акарициды широкого спектра действия для собак и кошек // Ветеринарная практика. — 2002. – № 16. – С. 23–30.
10. *Филатов С.В., Никитина С.Г.* Эпизоотическая ситуация по заразным болезням собак и кошек в г. Москве // Российский ветеринарный журнал. – 2021. – № 33. – С. 15.
11. *Фишер М.* Эктопаразиты у собак и кошек // WALTHAM Focus. – 2020. – № 21. – С. 30–31.
12. *Василевич Ф.И., Яровая Н.В., Енгашев С.В.* Комплексная терапия собак при демодекозе // Ветеринария. – 2010. – № 5. – С. 38–41.
13. *Головнина О.В.* Арахноэнтомозы мелких домашних животных и меры борьбы с ними // Ветеринарная патология. – 2019. – № 21. – С. 195–198.
14. *Жемчуева Г.В.* Особенности арахноэнтомозов у домашних животных в городских условиях // Материалы VIII Международного конгресса по проблемам ветеринарной медицины мелких домашних животных. — М.: Альфа, 2000. – С. 426–428.
15. *Сальникова О.Г.* Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями // Проблемы XXI века. – М.: Труды ВИГИС, 2022. – С. 426–428.

REFERENCES

1. Arhipov I.A., Problemy XXI veka, Moscow: Trudy VIGIS, 2022, pp. 124–135. (In Russ.)
2. Jung D., Veterinarnyj doctor, 2007, No. 8, pp. 13–15. (In Russ.)

3. Zerba E., Parasitol. Today, 2018, No. 104, pp. 53–57. (In Russ.)
4. Smirnov A.A., Preparaty na osnove sinteticheskikh piretroidov dlja bor'by s jektoparazitami plotojadnyh zhivotnyh (Preparations based on synthetic pyrethroids to combat ectoparasites of carnivores), Moscow: Vestnik nauki, 2022, 27 p.
5. Usmanskij M.A., Orenburgskij nauchnyj vestnik «Vertikal'», 2020, No. 34, pp. 42. (In Russ.)
6. Shagaev D.V., Posashkova E.S., Veterinarija, 2004, No. 4, pp. 51–53. (In Russ.)
7. Paterson S., Kozhnye bolezni koshek (Skin diseases of cats), Moscow, 2008, 168 p.
8. Rybin N.V., Zubareva I.M., Erova L.M., Vestnik NGAU, 2018, No. 34, pp. 115–119. (In Russ.)
9. Bishop B., Brjus S., Veterinarnaja praktika, 2002, No. 16, pp. 23–30. (In Russ.)
10. Filatov S. V., Nikitina S. G. Jepizooticheskaja situacija po zaraznym boleznyam sobak i koshek v g. Moskve / S. V. Filatov, S. G. Nikitina // Rossijskij veterinarnyj zhurnal. - 2021. - № 33. - S. 15. (In Russ.)
11. Fisher M., Jektoparazity u sobak i koshek (Ectoparasites in dogs and cats), WALTHAM Focus, 2020, No. 21, pp. 30–31.
12. Vasilevich F.I., Jarovaja N.V., Engashev S.V., Veterinarija, 2010, No. 5, pp. 38–41. (In Russ.)
13. Golovnina O.V., Veterinarnaja patologija, 2019, No. 21, pp. 195–198. (In Russ.)
14. Zhemchueva G.V., Materialy VIII Mezhdunarodnogo kongressa po problemam veterinarnoj mediciny melkih domashnih zhivotnyh, Moscow: Al'fa, 2000, pp. 426–28. (In Russ.)
15. Sal'nikova O.G., Problemy XXI veka, Moscow: Trudy VIGIS, 2022, pp. 426–428. (In Russ.)

ОПЫТ ОПТИМИЗАЦИИ ОПЫЛЕНИЯ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР

^{1,2} И.Д. Самсонова, доктор биологических наук, профессор

³ А.А. Плахова, доктор биологических наук, профессор

¹ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

² Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, Уфа, Россия

³ Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: isamsonova18@mail.ru

Ключевые слова: плодовые культуры, сорта, опыление, урожайность, биоресурсный потенциал, медоносы, метод накопления сумм эффективных температур, радиочастотная идентификация, ДНК-метабаркодирование.

Реферат. Изучение зависимости урожайности и качества плодовых культур от опыления пчелами важно, кроме всего прочего, с точки зрения охраны пчел и биоразнообразия. Многолетние плодовые насаждения в Ростовской области занимают 30 тыс. га. *Важными для пчел медоносами считаются плодовые деревья – абрикос, айва, слива, вишня, черешня, груша, яблоня.* Целью исследования явилась разработка методов и приемов оптимизации опыления плодовых культур, основанных на установленных сроках цветения, сортовых особенностях растений и определении биоресурсного потенциала садов по районам области. С использованием метода накопления сумм эффективных температур установлено, что цветение садов начинается с массового цветения абрикоса во второй декаде апреля и заканчивается цветением айвы в конце мая. Средняя продолжительность цветения растений составила 7–14 дней. Наблюдения за динамикой урожайности показали увеличение количества плодов при оптимизации опыления в 20–27 раз у вишни и черешни. С учетом изменения природно-климатических условий Ростовской области при продвижении по территории, физиологических особенностей плодовых деревьев, а также взаимоопыляемости различных сортов предложены сроки кочевок пчелиных семей для перекрестного опыления и схемы посадки при закладке сада. Мониторинг биоресурсного потенциала садов показал, что общая площадь садов на территории области составляет 27 тыс. га с биоресурсным потенциалом для медосбора 434, 1 т. Наибольшим биоресурсным потенциалом для медосбора характеризуются площади садов на территории 4-го района медосбора (154, 1 т). В 1-м районе этот показатель составляет 95, 5 т, незначительно меньше в 3-м районе – 73,4 т. Использование всех перечисленных приемов регулирования работы с пасекой и агротехники выращивания садов создаст условия для повышения их урожайности в 10,8 раза, или на 73,3%.

EXPERIENCE IN OPTIMIZING THE POLLINATION OF FRUIT CROPS

^{1,2} I.D. Samsonova, Doctor of Biological Sciences, Professor

³ A.A. Plakhova, Doctor of Biological Sciences, Professor

¹ S.M. Kirov St. Petersburg State Forestry University, St. Petersburg, Russia

² Bashkir State Pedagogical University named after: M. Akmully, Ufa, Russia

³ Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: isamsonova18@mail.ru

Keywords: fruit crops, varieties, pollination, productivity, bioresource potential, honey plants, method of accumulation of sums of effective temperatures, radio frequency identification, DNA metabarcoding.

Abstract. Studying the dependence of the yield and quality of fruit crops on pollination by bees is necessary, among other things, from the point of view of the protection of bees and biodiversity. Perennial fruit plantations in the Rostov region occupy 30 thousand hectares. Fruit trees such as apricot, quince, plum, cherry, sweet cherry, pear, and apple are essential honey plants for bees. The study aimed to develop methods and techniques for optimising the pollination of fruit crops based on established flowering periods and varietal characteristics of plants and determining the bioresource potential of gardens in the region. Using the method of accumulating sums of effective temperatures, it was established that the flowering of gardens begins with the mass flowering of apricot in the second ten days of April and ends with the flowering of quince at the end of May. The average duration of

flowering of plants was 7–14 days. Observations of yield dynamics showed an increase in the number of fruits when optimising pollination by 20–27 times in cherries and sweet cherries. Taking into account the changes in the natural and climatic conditions of the Rostov region when moving through the territory, the physiological characteristics of fruit trees, as well as the mutual pollination of different varieties, the timing of migrations of bee colonies for cross-pollination and planting patterns when planting an orchard are proposed. Monitoring of the bioresource potential of gardens showed that the total area of parks in the region is 27 thousand hectares, with a bioresource potential for honey collection of 434.1 tons. The most significant bioresource potential for honey collection is characterised by the area of gardens in the territory of the 4th honey collection district (154.1 tons). In the 1st region, this figure is 95.5 tons, slightly less in the 3rd region - 73.4 tons. Using all listed methods for regulating work with an apiary and agricultural technology for growing gardens will create conditions for increasing their productivity by 10.8 times, or by 73.3%.

Пчелы играют важную роль в увеличении количества плодовых культур, таких как яблони, груши, вишни, абрикосы и др., так как опыление приводит к повышению качества плодов и семян. Изучение этого процесса может помочь разработать методы и приемы оптимизации опыления, такие как размещение пчелиных ульев на плодовых плантациях и определение численности пчел на единицу площади плантаций. Рациональное использование садов в качестве кормовых угодий для пчел может привести к увеличению урожая и экономической эффективности сельскохозяйственного производства.

Изучение зависимости урожайности плодовых культур от опыления пчелами важно также с точки зрения охраны пчел и биоразнообразия. Пчелы являются важными опылителями не только для плодовых культур, но и для многих дикорастущих растений, поддерживая биоразнообразие в природных экосистемах. Изменения климата влияют на биологические процессы, включая опыление плодовых культур [1]. Определение зависимости урожая от опыления пчелами может помочь в изучении того, как меняется климат.

При существенной актуальности вопроса увеличения урожайности садов требуется применение методов исследования, которые позволяют точно измерить урожайность и провести сравнительный анализ результатов. Важно учитывать такие факторы, как агротехнические приемы, погодные условия, состояние местности, влияние насекомых-опылителей и других биотических и абиотических факторов.

Пчелы и другие насекомые-опылители играют важную роль в опылении многих плодовых культур. Это проявляется в выраженном разнообразии опылителей, их активности и эффективности опыления.

Существует несколько новых методов оценки опыления садов, которые могут быть использованы в исследованиях:

– радиочастотная идентификация (RFID). Этот метод предусматривает определение рас-

пространения насекомых-опылителей с помощью меток, содержащих радиочастотные чипы. Метки могут быть размещены на цветках, растениях или на самом насекомом. С помощью вычислителя можно фиксировать сдвиг опылителей и определять их активность и предпочтения в выборе цветков или растений для опыления. В оценочном исследовании влияния опыления на урожайность садов RFID-чипы могут быть использованы для отслеживания движения насекомых-опылителей, их предпочтений в выборе растения. Исследования по оценке опыления урожаев садов с использованием RFID-чипов были проведены в Австралии, различных провинциях Канады, таких как Онтарио, Квебек, Британская Колумбия и др. [2–5];

– ДНК-метабаркодирование. Этот метод основан на анализе ДНК насекомых, собранной из цветков или других материалов садовых растений.

Многолетние плодовые насаждения в Ростовской области занимают 30 тыс. га [6]. Чрезвычайно важными для пчел медоносами считаются плодовые деревья – абрикос, айва, слива, вишня, черешня, груша, яблоня.

Целью исследования явилась разработка методов и приемов оптимизации опыления плодовых культур, основанных на установленных сроках цветения, сортовых особенностях растений и определении биоресурсного потенциала садов по районам области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для комплексного изучения влияния процесса опыления на особенности цветения и качество урожайности плодовых культур определена медовая продуктивность плодовых растений и продуктивность садов. Наблюдения за сроками цветения медоносных растений проводили в окрестностях г. Новочеркаска Ростовской области в 2020–2022 гг. Содержание

сахара в нектаре медоносов и урожайность плодовых культур определяли на территории ООО «Агрофирма “Красный сад”» Азовского района Ростовской области.

Сроки и продолжительность цветения растений варьируют по пчеловодным сезонам в зависимости от климатических условий. Прогнозирование сроков цветения медоносных растений проводили с использованием метода накопления суммы эффективных температур [7]. Для определения медовой продуктивности основных видов медоносов выполнены поэтапно необходимые учетные работы и наблюдения по методам, принятым в научно-исследовательской практике пчеловодства [8]. В ходе исследований утонялось количество культур на 1 га, интенсивность цветения и продолжительность выделения нектара одним цветком, а также содержание сахара в нектаре.

Метод сравнения – это наиболее распространенный метод, который предполагает сравнение урожаев между контрольной и экспериментальной группой. При этом методе часть растений (экспериментальная группа)

вследствие использования сеток, пакетов или других материалов, становятся недоступными для опыления, в то время как другая часть растений (контрольная группа) опыляется свободно. После выращивания плодов или семян по данным группам растений производится оценка урожайности – сбор и подсчет количества плодов или семян.

Оценку влияния перекрестного опыления цветков на урожай плодов яблони сорта Ренет Симиренко проводили в молодом саду 2010 г. посадки и в полновозрастном саду 1982 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По наши наблюдениям, в условиях степного Придонья во второй декаде апреля начинается цветение ранневесеннего медоноса (абрикоса обыкновенного), в третьей декаде – вишни. Через 10 дней после зацветания вишни начинается цветение яблони и груши.

Таблица 1

Средние многолетние сроки цветения плодовых медоносов степного Придонья
Average long-term flowering periods of fruit honey plants in the steppe region of the Don region

Вид	Начало цветения		Конец цветения		Продолжительность цветения, дней
	Дата	Сумма эффективных температур, °C	Дата	Сумма эффективных температур, °C	
Абрикос	17.04	96,1±3,3	28.04	164,3±3,9	7-11
Слива	18.04	109,8±3,8	28.04	168,6±4,6	7-10
Вишня	21.04	111,8±2,2	29.04	185,1±5,6	10
Черешня	24.04	185,1±5,6	6.05	270,6±3,3	13-20
Груша	28.04	195,7±2,5	10.05	295,0±2,8	10-16
Яблоня	12.04*	202,6±3,3	12.05	312,5±4,0	10-15
Айва	9.05	283,7±4,6	29.05	376,0±2,4	20-25

*Наблюдения за 2020–2022 гг.

*Observations for 2020–2022

Наблюдения за сроками цветения яблони показали, что в 2020 г. начало цветения отмечено 27 марта, что связано с ранним приходом весны и началом периода вегетации 26 февраля. При этом отклонение в сроках цветения от средних многолетних отразилось на процессе цветения, опыления и образования завязи. Так, в этот период (1 апреля) отмечались весенние заморозки. В 2021 г. весна характеризовалась

как скоротечная с активным накоплением сумм эффективных температур для роста и развития растений, поэтому начало цветения зафиксировано 23 апреля. Отмеченное начало цветения в 2022 г. 12 апреля является отклонением от многолетних дат (30 апреля), что, возможно, связано с изменением климата [1, 9, 10].

Владение данными о необходимых суммах эффективных температур для цветения медо-

носов позволяет определить не только сроки и последовательность цветения, но и своевременно готовить пчелиные семьи к медосбору, не прибегая к прямым фенологическим наблюдениям. Пасеку необходимо размещать в саду в

начале цветения, когда на деревьях распустится 10–20% цветков.

При оценке медоносности плодовых деревьев отмечено, что вишневые сады по медовой продуктивности значительно превосходят насаждения яблони и груши (табл. 2).

Таблица 2

Медовая продуктивность и урожайность плодовых медоносов Ростовской области
Honey productivity and yield of fruit honey plants in the Rostov region

Вид	Содержание сахара в нектаре одного цветка, мг	Медовая продуктивность, кг/га	Урожайность плодов с 1 дерева, кг		Увеличение урожайности, раз
			без опыления (с изоляторами)	с опылением	
Абрикос	0,40-1,00	20–40	10,0	75,0	6,0
Вишня	1,50-2,00	30–50	1,1	27,5	20,5
Слива	1,80	20–40	4,5	56,0	10,0
Черешня	0,66	20	2,0	68,8	27,5
Айва	3,50	15–18	55,4	103,8	1,5
Персик	0,45	5	43,6	60,0	1,1
Груша	-	7–15	13,9	146,3	8,4
Яблоня	-	15–30	12,0*	168,8*	11,3
Среднее				88,3	10,8

*Средняя урожайность яблони сорта Ренет Симиренко молодого и полновозрастного сада.

*Average yield of apple tree variety Renet Simirenko in a young and full-aged garden.

Многие сорта плодовых деревьев не опыляются собственной пылью, а требуют перекрестного опыления пчелами, что способствует получению высоких урожаев. Перекрестного опыления требуют практически все сорта черешни, яблони и груши, вишни и сливы. Самоплодными являются все сорта персика, часть сортов айвы и абрикоса.

Урожайность даже самоопыляющихся сортов возрастает при опылении плодовых деревьев с помощью специально подобранных сортов. Взаимоопыляемость различных сортов зависит от наследственных или физиологических особенностей плодовых деревьев, а также от почвенно-климатических и агротехнических условий.

Опыление цветков пылью, собранной с разных сортов, дает более высокий урожай, чем опыление пылью одного сорта. При подборе сортов-опылителей (взаимоопылителей) необходимо обратить внимание на время цветения и созревания плодов (летние, зимние, осенние, позднезимние), на долговечность сорта, на морфологические особенности (сила роста, форма кроны).

На процесс опыления оказывают влияние погодные условия. Дождливая холодная погода, порывы сильного ветра во время цветения деревьев отрицательно сказываются на лете пчел и шмелей, что, в свою очередь, затрудняет опыление и формирование завязей.

Природно-климатические условия Ростовской области характеризуются большой изменчивостью. Температурный режим и количество осадков вегетационного периода меняются с продвижением с запада на восток и с севера на юг. По природным и экономическим условиям для развития садоводства область разделена на две зоны: южную и северную. Южная зона охватывает территорию Ростовской области до объединения с Каменской, за исключением районов Куйбышевского и Родионово-Несветайского, но с районами Раздорским, Константиновским и Цимлянским. Северная зона – это бывшая Каменская область с указанными выше изменениями.

Если в южных районах области хорошо вызревают среднепоздние сорта айвы, абрикосов, слив и других теплолюбивых культур, то в се-

верных и северо-восточных районах хватает тепла только для сортов раннего и среднего сроков созревания. Это необходимо учитывать при закладке новых садов и подборе пород и сортов.

Для центральных и южных районов области сортимент плодовых культур значительно расширяется за счет более теплолюбивых пород и сортов таких, как яблоня Сары синап, Розмарин белый, Банан зимний; груша Вильямс, Кюре; вишня Английская ранняя, Анадольская; слива Исполинская, Ранняя синяя, Ренклюд Альтана; абрикос Краснощекий и др.; допускается айва.

В восточных районах области груша, черешня, абрикос рекомендуются в очень ограниченном количестве. В связи с более суровыми почвенными и климатическими условиями в этих районах несколько сокращается и набор сортов за счет малозимостойких и требовательных к почве и влаге.

Вопросами изучения сорта-опылителя и его расположения с целью увеличения урожайности плодовых культур занимались многие ученые. Влияние перекрестного опыления цветков пчелами сортами-опылителями на урожай плодов яблони сорта Ренет Симиренко в условиях Дагестанской Республики в своих работах описывают ученые Дагестанской ГСХА. Л.Я. Морева в условиях Краснодарского края отмечает, что в яблоневых садах для увеличения урожая сорта Флорина используют сорт Либерти. В монографии автор указывает на важность чередования сортов яблонь при

закладке плодового сада и расстановки ульев [11].

В условия степного Придонья яблоня Ренет Симиренко – один из лучших зимних сортов яблони. Как основной сорт районирован во всех плодовых районах южной зоны Ростовской области и как дополнительный в северо-западном районе северной зоны. Для получения высокого урожая рекомендуются взаимопылители – Бойкен, Пармен зимний золотой и опылители – Банан зимний, Кальвиль снежный, Мекинтош, Ренет ландсбергский, Голден Делишес, Джонатан [12].

В настоящее время при закладке сада получила распространение система, названная «имитация односортного квартала» [13]. Сад интенсивного типа с плотным стоянием в ряду малогабаритных растений представляет собой квартал из клеток длиной по 100 м, разделенных дорогами шириной 4 м.

Сортовая агротехника представляет собой ряд из 50 деревьев, размещенных через 2 м, из которых 48 (96%) принадлежат основному сорту, а два дерева – по одному в начале и конце ряда – сортам-опылителям. При такой системе пчелы перемещаются вдоль рядов, где им меньше препятствует ветер. Для заполнения пылью обножек пчела в среднем пролетает (обрабатывает) 150 м ряда цветущих деревьев, что обеспечивает надежное оплодотворение цветков основного сорта. При обильном цветении для опыления 1 га необходимо наличие полноценной пчелосемьи, а при среднем и слабом цветении – не менее двух пчелосемей на 1 га.

Таблица 3

Оценка опыления и качества урожайности яблони сорта Ренет Симиренко
Assessment of pollination and yield quality of apple tree variety Renet Simirenko

Показатель	Число цветков на дереве, тыс. шт		Содержание сахара, %		Собрано плодов, шт		Средняя масса плода, г		Число семян в плодах, шт.	
	М.с.	П.с.	М.с.	П.с.	М.с.	П.с.	М.с.	П.с.	М.с.	П.с.
Свободное опыление, контроль	2,9	30,5	14,8	13,5	152	2312	92,5	85,2	9,3	8,8
Опыление под изолятором без пчел с пчелами	3,2	32,3	12,5	12,3	15	35	59,6	74,0	3,7	3,5
	2,8	34,8	13,2	13,5	100	248	63,0	73,5	6,1	7,4
Перекрестное опыление пчелами с сортами опылителями одним двумя	3,0	29,2	15,1	11,8	514	5660	85,5	50,0	10,8	10,7
	3,1	30,5	15,5	12,0	580	5820	97,0	53,2	11,7	12,1

Примечание. М.С. – молодой сад; П.С. – полновозрастной сад.

Результаты наших исследований (табл. 3) показывают, что свободное опыление молодого

яблоневого сада из сорта Ренет Симиренко с интенсивностью цветения 2,9 тыс. шт. на одном

дереве способствует завязыванию 152 плодов с урожаем 15,06 кг с одного дерева. При опылении цветков под изоляторами с помощью пчел плодов образовалось больше и лучшего качества, чем без пчел. Анализ интенсивности лета насекомых над яблоневыми садами показал, что среди общего количества посетителей цветков 95,0 % приходится на медоносных пчел, 2,3 – это шмели, до 2,0 – одиночные пчелы и 0,7% – мухи, бабочки и жуки.

Биологическая целенаправленность сокращения периода опыления до первых трех дней в сильноцветущих садах позволит более интенсивно и эффективно использовать одну пасеку за счет перевозки ее в слабоцветущие взрослые и молодые сады для дополнительного опыления. Таким образом, ограничивается опыление цветков, распустившихся в следующие дни (4-й и 5-й). Регулируя сроки использования пчел, можно обеспечить своевременное осыпание лишней завязи. Из цветков 4-го и 5-го дня распускания образуются плоды меньших размеров и низких товарных качеств.

Биоресурсный потенциал угодий с участием плодовых растений различных категорий земель, земель лесного фонда и агролесоландшафтов на территории Ростовской области составляет 84,239 т [14].

Мониторинг биоресурсного потенциала для медосбора плодовых культур позволяет проследить за динамикой данного показателя оцениваемых угодий. Наибольшим биоресурсным потенциалом для медосбора характеризуются площади садов на территории 4-го района медосбора (154, 1 т) [6]. В 1-м районе этот показатель составляет 95, 5 т, незначительно меньше в 3-м районе – 73,4 т. Биоресурсный потенциал садов на территории 2-го и 5-го районов в 3 раза меньше, чем в 4-м районе – 57,6 и 53,5 т соответственно. Таким образом, общая площадь садов на территории области состав-

ляет 27 тыс. га с биоресурсным потенциалом для медосбора 434, 1 т.

Для определения биоресурсного потенциала садов использовали среднее значение урожайности плодовых культур (88,3 т/га), установленное с учетом всех приемов повышения урожайности. Высоким биоресурсным потенциалом отличаются 4-й (847,7 т) и 1-й районы (520,9 т) медосбора. Значительными показателями характеризуются 3-й (406, 2 т) и 2-й районы (317,9 т).

Необходимо помнить, что обработку сада пестицидами для борьбы с болезнями и вредителями желательно проводить до и после цветения, чтобы не допустить отравления пчел.

ВЫВОДЫ

1. Сроки, последовательность и продолжительность цветения медоносов, установленные методом сумм эффективных температур, необходимы в практическом пчеловодстве, они позволяют рационально использовать кормовые угодья путем своевременного планирования и организации кочевок пасек.

2. При размещении на территории сада сотров-опылителей и взаимоопылителей надо создавать условия, при которых в опылении участвовал бы не один сорт, а два или больше.

3. Перемещение пасеки из одного сада в другой способствует опылению большей площади и сокращает потребность в пчелиных семьях без снижения урожайности. Своевременная кочевка пасеки (через три дня после начала цветения) позволит получить высокий и качественный урожай за счет опадения резервных цветков.

4. Использование всех перечисленных приемов регулирования работы с пасекой и агротехники выращивания садов создаст условия для повышения их урожайности в 10,8 раза или на 73,3%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Земскова Н.Е., Мельникова Е.Н., Самтаров В.Н. Влияние изменения климата на медоносный конвейер // Пчеловодство. – 2022. – № 10. – С. 16–17.
2. Orbán L.L., Plowright C.M. Radio Frequency Identification and motion-sensitive video efficiently automate recording of unrewarded choice behavior by bumblebees // J VisExp. – 2014. – Nov 15; Vol. 93. – P. 52033. – DOI: 10.3791/52033. PMID: 25489677; PMCID: PMC4354050.
3. Barlow S.E., O'Neill M.A. Technological advances in field studies of pollinator ecology and the future of e-ecology // Curr Opin Insect Sci. – 2020. – Apr; Vol. 38. – P. 15–25. – DOI: 10.1016/j.cois.2020.01.008. Epub 2020 Jan 28. PMID: 32086017.
4. Бармаз С., Поттс С.Г., Виги М. Новый метод оценки рисков для опылителей от средств защиты растений с использованием медоносных пчел в качестве модельного вида //

- Экотоксикология. – 2010. – № 19. – Р. 1347–1359. – <https://doi.org/10.1007/s10646-010-0521-0>.
5. Rahimi E., Barghjelveh S., Dong P. Estimating landscape structure effects on pollination for management of agricultural landscapes // *Ecol Process*. – 2021. – Vol. 10. – P. 59. – <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00331-3>.
 6. Самсонова И.Д., Саттаров В.Н. Ресурсный потенциал угодий для медосбора степного Придонья. – Воронеж, 2021. – 210 с.
 7. Самсонова И.Д., Сидаренко П.В. Медоносы Нижнего Дона. – Новочеркасск: НГМА, 2011. – 114 с.
 8. Фундаментальные методы исследований в пчеловодстве и их результаты / В.Н. Саттаров, И.Д. Самсонова, И.А. Морев., Р.А. Ильясов. – Уфа: БГПУ им. М. Акмуллы, 2023. – 183 с.
 9. Симанков М.К., Шураков С.А. Влияние климатических условий 2018 г. на нектаропродуктивность медоносных растений Пермского края // *Пчеловодство*. – 2019. – № 8. – С. 28–29.
 10. Улугов О.П., Шарипов А., Саттаров В.Н. Влияние опасных последствий изменения климата на пчелиные семьи // XII Ломоносовские чтения: материалы Междунар. науч.–практ. конф., посвящ. Дню таджикской науки и 30-летию установления дипломатических отношений между Республикой Таджикистан и Российской Федерацией. – Душанбе, 2022. – С. 359–363.
 11. Морев Л.Я. Трофические связи медоносных растений и пчел в условиях Северо-Западного Кавказа: монография. – Краснодар: Кубан. гос. ун-т, 2005. – 287 с.
 12. Снитко Н.Ф. Сорта плодовых пород Ростовской области. – Ростов-н/Д: Кн. изд-во, 1958. – 155 с.
 13. Куренной Н.М., Колтунов В.Ф., Черепашин В.И. Плодоводство: учеб. для высш. с.-х. учеб. завед. по агроном. и экон. Специальностям. – М.: Агропромиздат, 1985. – 398 с.
 14. Самсонова И.Д., Саттаров В.Н., Гильманова Г.Р. Медоносная ценность плодовых видов степном Придонье // *Вестник ИРГСХА*. – 2022. – № 110. – С. 33–44. – DOI: 10.51215/1999-3765-2022-110-33-44.

REFERENCES

1. Zemskova N.E., Mel'nikova E.N., Sattarov V.N., *Pchelovodstvo*, 2022, No. 10, pp. 16–17. (In Russ.)
2. Orbán L.L., Plowright C.M., Radio Frequency Identification and motion-sensitive video efficiently automate recording of unrewarded choice behavior by bumblebees, *J VisExp*, 2014, Nov 15, Vol. 93, pp. 52033, DOI: 10.3791/52033. PMID: 25489677; PMCID: PMC4354050.
3. Barlow S.E., O'Neill M.A., Technological advances in fields studies of pollinator ecology and the future of e-ecology, *Curr Opin Insect Sci*, 2020, Apr, Vol. 38, pp. 15–25. – DOI: 10.1016/j.cois.2020.01.008. Epub 2020 Jan 28. PMID: 32086017.
4. Barmaz S., Potts S.G., Vigi M., *Jekotoksikologija*, 2010, No. 19, pp. 1347–1359, <https://doi.org/10.1007/s10646-010-0521-0>. (In Russ.)
5. Rahimi E., Barghjelveh S., Dong P. Estimating landscape structure effects on pollination for management of agricultural landscapes, *Ecol Process*, 2021, Vol. 10, pp. 59, <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00331-3>.
6. Samsonova I.D., Sattarov V.N., Resursnyj potencial ugodij dlja medosbora stepnogo Pridon'ja (Resource potential of lands for honey collection in the steppe region of the Don region), *Voronezh*, 2021, 210 p.
7. Samsonova I.D., Sidarenko P.V., Medonosy Nizhnego Dona (Honey plants of the lower Don), *Novocherkassk: NGMA*, 2011, 114 p.
8. Sattarov V.N., Samsonova I.D., Morev I.A., Il'jasov R.A., Fundamental'nye metody issledovanij v pchelovodstve i ih rezul'taty (Fundamental research methods in beekeeping and their results), *Ufa: BGPU im. M. Akmully*, 2023, 183 p.
9. Simankov M.K., Shurakov S.A., *Pchelovodstvo*, 2019, No. 8, pp. 28–29. (In Russ.)

10. Ulugov O.P., Sharipov A., Sattarov V.N., XII Lomonosovskie chtenija (XII Lomonosov readings), Preceedings of the Conference Title, Dushanbe, 2022, pp. 359–363. (In Russ.)
11. Moreva L.Ja., Troficheskie svjazi medonosnyh rastenij i pchel v uslovijah Severo–Zapadnogo Kavkaza (Trophic connections between honey plants and bees in the Northwestern Caucasus), Krasnodar: Kuban. gos. un-t, 2005, 287 p.
12. Snitko N.F., Sorta plodovyh porod Rostovskoj oblasti (Varieties of fruit species of the Rostov region), Rostov–n/D: Kn. izd-vo, 1958, 155 p.
13. Kurennoj N.M., Koltunov V.F., Cherepahin V.I., Plodovodstvo (Fruit growing), M.: Agropromizdat, 1985, 398 p.
14. Samsonova I.D., Sattarov V.N., Gil'manova G.R., Vestnik IrGSHA, 2022, No. 110, pp. 33–44, DOI: 10.51215/1999–3765–2022–110–33–44. (In Russ.)

DOI: 10.31677/2072-6724-2023-68-3-287-301

УДК 619:578.8: 616-036.22

ЛАГОВИРУСНЫЕ ИНФЕКЦИИ ЗАЙЦЕВ И КРОЛИКОВ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ЭПИЗООТИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В МИРЕ И РОССИИ

С.С. Терентьев, кандидат биологических наук

О.И. Захарова, кандидат ветеринарных наук

О.А. Бурова, кандидат ветеринарных наук

Т.В. Овсянко, кандидат ветеринарных наук

С.Ш. Спицина, кандидат ветеринарных наук

И.В. Яшин, кандидат ветеринарных наук

А.А. Блохин, кандидат ветеринарных наук

Нижегородский научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал Федерального исследовательского центра вирусологии и микробиологии, Нижний Новгород, Россия

E-mail: info@ficvim.ru

Ключевые слова: вирусная геморрагическая болезнь кроликов, синдром коричневой печени европейского зайца, вирус, этиология, распространение, профилактика.

Реферат. Вирусная геморрагическая болезнь кроликов (RHD, ВГБК) и синдром коричневой печени европейского зайца (EBHS) представляют собой две схожие болезни, поражающие животных семейства зайцевые, вызываемые близкородственными лаговир usernameами и проявляющиеся острой и летальной формой гепатита и тромбогеморрагическим синдромом во всех органах, особенно в легких и печени. Эти два вируса тесно связаны генетически и антигенно и имеют приблизительно 76% идентичности. Возбудителем EBHS является вирус генотипа GI.1. К нему восприимчивы различные виды рода зайцев и флоридские кролики. ВГБК вызывают вирусы двух генотипов: RHDV-GI.1 и RHDV-GI.2. Первый генотип (RHDV-GI.1) строго специфичен для кроликов, в то время как второй (RHDV-GI.2) имеет более широкий круг восприимчивых животных и поражает не только зайцев, но и барсуков обыкновенных и рыжебрюхих кабарог. Кроме того, из-за отсутствия перекрестного иммунитета между RHDV-GI.1 и RHDV-GI.2 и широкого круга хозяев второй генотип вытесняет первый из восприимчивых популяций, что делает его в эпизоотологическом плане более опасным. Болезни имеют высокую заболеваемость и высокую летальность – до 90%. С учетом высокой устойчивости вируса в окружающей среде, болезнь способна нанести серьезный экономический ущерб. Контроль болезней эффективно реализуется с помощью вакцинации и общих карантинных и профилактических мер. Однако это касается только ВГБК первого и второго типа, против которого существуют вакцины. Вакцины против синдрома коричневой печени европейского зайца в настоящее время не разработаны.

LAGOVIRUS INFECTIONS OF HARES AND RABBITS: REVIEW OF LITERATURE AND EPIZOOTIC SITUATION IN THE WORLD AND RUSSIA

S.S. Terentyev, PhD in Biological Sciences

O.I. Zakharova, PhD in Veterinary Sciences

O.A. Burova, PhD in Veterinary Sciences

T.V. Ovsyukhno, PhD in Veterinary Sciences

S.Sh. Spitsina, PhD in Veterinary Sciences

I.V. Yashin, PhD in Veterinary Sciences

A.A. Blokhin, PhD in Veterinary Sciences

Nizhny Novgorod Research Veterinary Institute - the branch of the Federal Research Center of Virology and Microbiology, Nizhny Novgorod, Russia

E-mail: info@ficvim.ru

Keywords: rabbit viral hemorrhagic disease, European hare brown liver syndrome, virus, aetiology, spread, prevention.

Abstract. Rabbit viral hemorrhagic disease (RHD) and European hare brown liver syndrome (EBHS) are two similar diseases affecting animals of the hare family, caused by closely related lagoviruses and manifesting as an acute and fatal form of hepatitis and thrombohemorrhagic syndrome in all organs, especially the lungs and liver. The two viruses are closely related genetically and antigenically and share approximately 76% identity. The causative agent of EBHS is a virus of genotype GII.1. Various species of hares and Florida rabbits are susceptible to it. VGBV is caused by viruses of two genotypes: RHDV-GI.1 and RHDV-GI.2. The first genotype (RHDV-GI.1) is strictly specific for rabbits. In contrast, the second (RHDV-GI.2) has a broader range of susceptible animals and affects not only hares but also common badgers and red-bellied musk deer. In addition, due to the lack of cross-immunity between RHDV-GI.1 and RHDV-GI.2 and a wide range of hosts, the second genotype displaces the first of the susceptible populations, which makes it more dangerous in epidemiological terms. The diseases have high morbidity and high mortality - up to 90%. Given the high persistence of the virus in the environment, the disease can cause severe economic damage. Disease control is effectively achieved through vaccination, general quarantine, and preventive measures. However, this only applies to VGBV types 1 and 2, for which vaccines exist. Currently, no vaccines are developed against brown liver syndrome in the European hare.

Вирусная геморрагическая болезнь кроликов (ВГБК, RHD) и синдром коричневой печени европейского зайца (EBHS) представляют собой две схожие болезни, поражающие животных семейства зайцевые, вызываемые лаговирusernameами и проявляющиеся острой и летальной формой гепатита и тромбогеморрагическим синдромом во всех органах, особенно в легких и печени.

Вирус геморрагической болезни кроликов имеет тенденцию к мутациям и способен наносить серьёзный экономический ущерб за счёт высокой летальности среди кроликов и необходимости выполнения мероприятий по ликвидации очага заболевания. Кроме того, есть экологическая опасность, поскольку дикие кролики и зайцы служат кормовой базой для многих хищников. Поэтому является актуальным изучение свойств вируса, источников, путей передачи, а также методов диагностики и способов ликвидации болезни.

Цель работы – обобщить актуальные научные данные по вирусной геморрагической болезни кроликов и синдрому европейского зайца, изучить эпизоотическую ситуацию в мире и Российской Федерации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поиск научных источников проводили путём скрининга международных баз научного цитирования Web of Science, PubMed, Scopus, Google Scholar, Mendeley, ResearchGate и РИНЦ. Критериями служили ключевые слова: геморрагическая болезнь кроликов (haemorrhagic disease of rabbits), RHDV, синдром коричневой печени европейского зайца

(european brown hare syndrome), EBHSV распространение (spread), вирус (virus). После исключения повторяющихся и непроверенных данных, выбора публикаций, полностью соответствующих цели работы, отобрано 59 источников.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Этиология болезни. Возбудители синдрома коричневой печени европейского зайца (European brown hare syndrome (EBHS)) и вирусной геморрагической болезни кроликов (Rabbit hemorrhagic disease (RHD)) относятся к роду *Lagovirus* семейства *Caliciviridae* [1]. Болезнь характеризуется выраженным поражением печени и нарушением регуляции свертывания крови.

Вирусы EBHS и RHD являются близкородственными (сходство нуклеотидного состава VP60 составляет 70%) и представляют собой небольшой безоболочечный вирус диаметром примерно от 30 до 35 нм. Икосаэдрический капсид вируса расположен вокруг положительно-полярной нити РНК размером примерно 7,4 kb.

РНК имеет две открытые рамки считывания (ORF). ORF1 кодирует полипротеин примерно из 2334 аминокислот, который подвергается процессингу протеазами с образованием нескольких неструктурных белков, включая РНК-зависимую РНК-полимеразу (RdRp) и капсидный белок (VP60). ORF2 кодирует небольшой белок (VP10) с неизвестной функцией [2].

Впервые вирусная геморрагическая болезнь кроликов (ВГБК первого типа, RHDV-

GI.1) была выявлена в Китае в 1984 г.¹. С того времени, обладая высоким мутационным потенциалом, вирус эволюционировал в различные генотипы: GI.1a (RHDVa или G6); GI.1b (G1); GI.1c (G2) и GI.1d (G3–G5) [3, 4].

В 2010 г. во Франции появился генетически и антигенно отличный вирус, названный ВГБК второго типа (RHDV-GI.2 (GI.2)), который вызывал заболевание, очень похожее на ВГБК первого типа. В настоящее время есть сведения, указывающие на то, что в данный момент ВГБК второго типа вытесняет ВГБК первого типа во многих странах мира [5, 6].

Генотипы GI.1 и GI.2 являются патогенными для животных, в первую очередь, кроликов и зайцев. Вирусы генотипов GI.3 (представлен RCV-E1 (*Lagovirus europaeus* /GI.3)), GI.4 (представлен RCV-A1 (*Lagovirus europaeus* /

GI.4) и RCV-E2 (*Lagovirus europaeus* /GI.4d)) не вызывают болезни у кроликов и зайцев [7, 8].

Возбудителей синдрома коричневой печени европейского зайца (EBHSV) разделяют на два генотипа: GII.1 (вызывает EBHS) и GII.2, который включает непатогенные штаммы лаговировусов. На данный момент среди генотипа GII.1 были описаны варианты: GII.1a (G1/группа A), GII.1b (GI.3/группа B) и GII.1c (G2/группа B) [7, 8].

Изоляты ВГБК, выделенные из патологического материала, полученного в разных географических регионах, обладают высоким гомологичностью нуклеотидных последовательностей. Различия в нуклеотидах и аминокислотах между штаммами RHDV колеблются между 1–10%, а у RHDV-GI.2 1–6%, что намного ниже, чем различия, наблюдаемые у других калицивирусов [9].

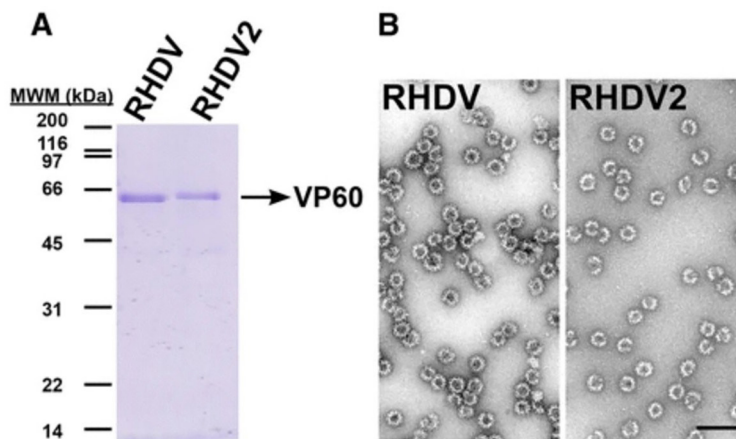


Рис. 1. Электронная микроскопия RHDV и RHDV-GI.2 частиц VP60. Масштабная линейка, 100 нм [10]

Electron microscopy of RHDV and RHDV-GI.2 VP60 particles. Scale bar, 100 nm [10]

Анализ результатов электронной микроскопии показал высокое визуальное сходство между RHDV и RHDV-GI.2. На рис. 1 они выглядят как вирусоподобные частицы диаметром 40 нм. Вирионы ВГБК выглядят как частицы диаметром 32–35 нм, лишенные внешней оболочки с кольцеобразным капсидом (25–27 нм в диаметре). От капсида в стороны через одинаковые промежутки расходятся 10 коротких отростков [1, 9].

Устойчивость вирусов. Вирусы RHD и EBHS инактивируется за час при температуре 50 °С. Стабильны при pH 4,5–10,5, инактивируются при pH > 12. В биологических материалах

они сохраняют вирулентность длительное время. Так, в охлажденном или замороженном мясе кролика, а также в разлагающихся тушах и фекалиях до 4 месяцев при температуре до 22 °С, а при 60 °С инактивируется за двое суток. В суспензии тканей органов ВГБК способен выживать до 7 месяцев при температуре 20 °С [3].

Восприимчивые животные. Лаговиральные инфекции характерны для широкого спектра видов животных семейства зайцевых.

RHDV-GI.1 поражает как диких, так и домашних кроликов и практически не встречается у зайцев, кроме случая обнаружения его у иберийского зайца (*L. granatensis*) [10].

¹OIE, 2019: Rabbit Haemorrhagic Disease (Technical Disease Card). 1–7. Available online: https://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Animal_Health_in_the_World/docs/pdf/Disease_cards/RHD.pdf (accessed on 3 October 2020). Дата обращения: 05.12.2022

RHDV-GI.2 вызывает болезнь у многих видов зайцев и кроликов: ардинского обыкновенного зайца (*L. capensis*), корсиканского зайца (*L. corsicanus*), зайца-беляка (*L. timidus*), европейского зайца (*L. europaeus*), дикого кролика (*O. cuniculus*). Доказано, что RHDV-GI.2 может передаваться от кроликов зайцам [11].

Последние исследования показали, что RHDV-GI.2 способен вызывать системную инфекцию у барсука обыкновенного (*Meles meles*) [12] и рыжебрюхих кабарог (*Moschus sifanicus*) [13].

В полевых и лабораторных экспериментах было доказано, что мыши *Apodemus sylvaticus* и *Mus spretus*, обитающие в тесной экологической связи с дикими кроликами Испании, обладают бессимптомным вирус-носительством. Предположительно, мыши заражаются RHDV после контакта с фекалиями кроликов либо в кроличьих норах. Вирус находили в печени мышей, при этом характерных для болезни поражений и клинических симптомов не возникало. Кроме того, вирус был выделен и из фекалий зараженных мышей, что указывает на определенную роль грызунов в эпизоотическом процессе [14, 15].

Важной особенностью RHDV GI.1 является то, что он не способен вызывать тяжелые формы заболевания у молодых особей до 9-недельного возраста, а RHDV GI.2 – у животных не моложе 4 недель [16]. Это связано в основном с тем, что у молодых кроликов не происходит представления антигенов гистогрупп крови на слизистых оболочках пищеварительной и респираторной системы, либо оно происходит не полностью и вирус не способен к ним прикрепиться. Однако при условии занесения вируса в печень, он способен закрепиться на рецепторах гепатитов, проникнуть в клетку и начать реплицироваться [17].

EBHSV способен инфицировать и широко распространяться среди европейских зайцев, в меньшей степени – в популяциях других зайцев: ардинского обыкновенного, корсиканского, иберийского, зайца-беляка. Имеются данные о заражении флоридского кролика (*Sylvilagus floridanus*) [2].

Пути передачи вируса. Возбудители EBHSV и RHDV передаются при прямом контакте, путями передачи являются фекально-оральный, назальный, конъюнктивальный. Однако из-за высокой устойчивости вирионов в окружающей среде имеет место не прямая передача через контаминированное оборудование, транспортные средства и инструменты, а также через людей, насекомых, птиц и грызунов. Имеются данные, доказывающие, что крольчата могут

быть бессимптомными распространителями RHDV GI.1 [18].

Полевые данные показали наличие вирионов EBHSV в содержимом кишечника лисицы [18]. Чуть раньше был поставлен эксперимент, в котором собак кормили печенью кроликов больных RHD. Вирус обнаруживался в фекалиях подопытных животных [19]. Более детальные исследования, проведенные в Италии, показали, что вирус может сохранять вирулентность пройдя через кишечник волка, при этом речь не идет о репликации в организме хищника или скрытом вирус-носительстве [20].

От инфицированных зайцев RHDV-GI.2 передается кроликам как при прямом, так и не прямом контакте с последующим развитием заболевания [18, 19].

ВГБК присутствует в крови, органах, выделениях, на коже и шерсти инфицированных животных, выделяется в больших количествах с мочой и фекалиями [5, 17].

Распространение болезни. Вирусная геморрагическая болезнь кроликов является высококонтагиозной, распространенной на всех континентах, где присутствует европейский кролик, тогда как синдром коричневой печени зайцев встречается только в Европе [1].

Первое массовое заболевание RHD зарегистрировано зимой 1983 г. в провинции Цзянсу Китайской Народной Республики. Болезнь распространилась среди ангорских кроликов, убив за 9 месяцев около 14 млн животных [21]. После этой вспышки в 1984 г. данную болезнь описали и определили её вирусную природу. С импортом меха болезнь распространилась в Корею, а в 1986 г. была зарегистрирована в Италии, Испании, Португалии и Франции, где она вызвала серьезное долгосрочное сокращение размера популяции кроликов. В Северную и Южную Америку болезнь была занесена с зараженным мясом кролика из Китая в 1988 г. [1, 21]. В Австралию RHDV завезли в 1995 г. в качестве средства биологической борьбы с кроликами. Он быстро распространился и за несколько лет сократил популяцию диких кроликов на 85%, после чего к 2013 г. популяция медленно восстановилась [23].

В 2010 г. во Франции был идентифицирован новый вариант RHDV с уникальным генетическим и антигенным профилем, получивший обозначение RHDV-GI.2 у диких и вакцинированных кроликов в кролиководческих комплексах. Летом этого же года RHDV-GI.2 был обнаружен в Италии, на Пиренейском полуострове и Великобритании. В 2017 г. вирус получил обозначение RHDV-GI.2 [24]. В 2013 г. во Франции RHDV-GI.2 был выделен

из патологического материала павших диких зайцев, после чего стало понятно, что новый вирус опасен не только для кроликов [25].

После появления RHDV-GI.2 начал распространяться по миру, вызывая падеж среди домашних, диких кроликов и зайцев [26].

Первый случай регистрации RHDV-GI.2 в Австралии произошел весной 2014 г., заболевание распространилось в популяции диких кроликов континента за 2 года, сократив их численность примерно на 60%. В данный момент в популяции диких кроликов Австралии регистрируется преимущественно RHDV-GI.2 [18].

В январе 2017 г. была зарегистрирована вспышка RHDV-GI.2 в Нидерландах среди диких зайцев [27]. Первое сообщение о регистрации RHDV-GI.2 в Северной Америке было в 2016 г. в Квебеке (Канада). В 2018 г. произошла вспышка на острове Ванкувер и в других регионах Канады, патоген выявили среди диких и домашних кроликов [28].

В США эмерджентный вирус впервые зарегистрирован в 2018 г. у домашнего кролика в Огайо¹. В 2020 г. на юго-западе США и в Мексике был зарегистрирован всплеск заболеваемости, вызванный RHDV-GI.2, среди чернохвостых зайцев (*L. californicus*), зайцев-антилоп (*L. alleni*), пустынных кроликов (*S. audubonii*) и горных кроликов (*S. nuttallii*), при этом смертность превысила более 90%².

В китайской провинции Сычуань RHDV-GI.2 был обнаружен в апреле 2020 г., что стало первым сообщением о вирусе на территории страны [29].

На территории Нигерии в 2020 г. было зарегистрировано несколько вспышек RHDV-GI.2

на фермах, занимающихся кролиководством [13].

В 2022 г. ГБК была зарегистрирована во многих странах мира. В Норвегии вспышка зарегистрирована 17 января в графстве Вестленд в частном хозяйстве [8]. Израиль 5 июля сообщил о двух вспышках в центральном регионе³. В сентябре 2022 г. болезнь зарегистрировали в Норвегии сразу в трёх графствах: Хадсель, Бё, и Окснес⁴. ЮАР сообщило о вспышке 18 ноября в провинции Северный Кейп среди диких кроликов⁵.

Впервые в России ВГБК зарегистрирована в 1986 г. на Дальнем Востоке на пограничной с Китаем территории, откуда патологический материал в виде шкур был отправлен на Воскресенскую фетровую фабрику. Оттуда болезнь начала распространяться по Московской области и другим регионам России. Уже в 1987 г. ВГБК была зарегистрирована в 31 регионе страны [30].

В 2015 г. на территории РФ зарегистрирована вспышка ВГБК в Республике Марий Эл, в 2016 г. в Орловской, Белгородской областях и Республике Коми, в 2017 г. в Забайкальском крае⁶.

В октябре 2018 г. в ФГБНУ Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии, впервые выделили RHDV-GI.2 из патологического материала, отобранного от павших кроликов Тверской области. В ноябре вирус обнаружили и в Московской области⁷. Уже в январе 2019 г. вирус выделили в Красноярском крае, а затем в Тульской области и Забайкальском крае, где на приусадебных хозяйствах произошла вспышка заболевания кроликов привитых от RHD с большим падежом поголовья. Диагностика установила RHDV-

¹USDA. (2020). Rabbit hemorrhagic disease virus, type 2. USDA, Animal and plant health inspection service. URL: https://www.aphis.usda.gov/animal_health/downloads/RHDV-GI.2.pdf Accessed 17.11.2022. Дата обращения: 15.02.2023

²House Rabbit Society. Rabbit Hemorrhagic Disease Virus (RHDV). Available online: <https://rabbit.org/rhdv/#southwest>. Accessed on 22 February 2021 (дата обращения: 11.12.2022).

³Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Regional Veterinary Lab Reports. Available at. URL: http://www.moa.gov.cn/xw/bmdt/201805/t20180521_6142681.htm Accessed 21.05.2018 Дата обращения: 15.02.2023

⁴Norwegian Food Safety Authority Head Office URL: https://www.nrk.no/nordland/massedod-av-harer-i-hadsel_-bo_-oksnes-og-andoy-1.16119139 Accessed 01.10.2022 (дата обращения: 11.12.2022).

⁵Department of Agriculture Land Reform and Rural Development. URL: <https://www.gov.za/speeches/agriculture-land-reform-and-rural-development-announces-outbreak-rabbit-hemorrhagic-disease> Accessed 17.11.2022. Дата обращения: 11.02.2023

⁶Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору (Россельхознадзор). URL: <https://cerberus.vetr.ru/cerberus/regionalization/pub> (дата обращения: 07.01.2023).

⁷Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору (Россельхознадзор). URL: <https://cerberus.vetr.ru/cerberus/regionalization/pub> (дата обращения: 02.12.2022).

GI.21. Группой ученых из отобранных образцов в 2020 г. был выделен изволят ВГБК2 (RHDV-GI.2 RUS69/2018) [31]. В 2021 г. Республика Саха, Краснодарский и Забайкальский края, Тверская и Челябинская области были объявлены неблагополучными по ВГБК. В 2022 г. к неблагополучным областям добавилась Республика Марий Эл [31].

Вирус синдрома коричневой печени впервые выделен и описан в Швеции в 1980 г. Однако в 1976 г. в Англии были описаны характерные поражения печени у мертвых зайцев. Постепенно происходит замена EBHSV-GII.a на EBHSV-GII.b [32]. В настоящий момент EBHSV периодически регистрируется по всей территории стран Европейского союза (ЕС) [2, 33, 34]. Данные о наличии вируса за пределами стран ЕС, в т.ч. в России, отсутствуют.

Патогенез. Патогенез, динамика развития клинических симптомов и патологических изменений как при обоих типах ВГБК, так и синдроме коричневой печени зайцев почти идентичны. После проникновения в организм RHDV-GI.1, RHDV-GI.2 или EBHSV связываются с антигенами гистологической группы крови и проявляют тропность к гепатоцитам, макрофагам и эндотелиальным клеткам [5].

Репликация вируса происходит в течение 36–72 ч после заражения. Прогрессирование заболевания коррелирует с повышенным апоптозом гепатоцитов и эндотелиальных клеток печени (острый гепатит). Происходит нарушение коагуляции за счет увеличения протромбинового времени, повышается деградация фибрина и снижается активность антитромбина III, что приводит к образованию микротромбов, диссеминированному внутрисосудистому свёртыванию крови. Наступает респираторный ацидоз, гипогликемия, повышается активность креатининкиназы, что указывает на полиорганную недостаточность, которая в конечном итоге приводит к смерти [35].

Кроме вышеописанных изменений, в течение первых 48–72 ч после заражения происходит нарушение иммунного ответа с индукцией системного апоптоза лимфоцитов и особенно Т-клеток, в результате чего резистентность организма утрачивается практически полностью. Перед смертью наблюдается тяжелая лейкопения [22]. После инфицирования RHDV происходит увеличение провоспалительных цитокинов в сыворотке крови, печени и селезенке молодых и взрослых особей, а также

противовоспалительных цитокинов у взрослых кроликов [36].

Клинические признаки. Инкубационный период длится 1–3 дня, а смерть обычно наступает через 12–36 ч. после начала заболевания.

Существуют следующие клинические формы течения RHD и EBHS [14, 29, 37]:

- сверхострая форма, отличается внезапной смертью без предшествующих клинических признаков;

- острая форма, характеризуется угнетением, анорексией, апатией, учащенным дыханием, анемией, а у некоторых животных проявляются диарейный синдром, истечения из носа (кровянистые или желтые), смерть наступает через 1–3 дня, у отдельных особей регистрируют угнетение;

- подострая форма с легким клиническими симптомами, и животные выздоравливают в течение 2–3 дней;

- субклиническая форма встречается у кроликов младше 6 недель. Она характеризуется тяжелой, генерализованной желтухой, потерей массы и летаргией. Смерть может наступить через 1–2 недели, но некоторые кролики выживают.

Павшие животные обычно лежат на правом боку с вытянутыми конечностями и запрокинутой головой, иногда – на груди, с подбрюшными передними конечностями (рис. 2). Шерстный покров гладкий или слегка взъерошен, слабо удерживается в волосяных фолликулах [38].

Показатели смертности при RHD достигают 50–90%. Перед смертью у кроликов могут возникать судорожные движения конечностей. Имеются данные, что EBHSV со смертельным исходом, летальный исход болезни чаще наступает у самцов [39].

RHD и EBHSV характеризуются острым некротизирующим гепатитом и кровоизлияниями в органах. Иногда в начале болезни наблюдается трахеит. Всегда присутствует внутрисосудистое свертывание крови во многих органах, особенно в легких, сердце и почках. Сердце обычно увеличено в объеме, стенки желудочков растянуты, под эндо- и эпикардом множественные точечные и пятнистые кровоизлияния. Селезенка набухает и увеличивается, приобретает темно-вишневый цвет. Почка красно-коричневого цвета, с мелкоточечными кровоизлияниями под капсулой. В желудочно-

¹ФГБНУ Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии, Третий случай обнаружения вируса геморрагической болезни кроликов нового типа — ВГБК-2 в Российской Федерации. URL: <https://ficvim.ru/2019/02/tretij-sluchaj-obnaruzheniya-virusa-gemorragicheskoy-bolezni-krolikov-novogo-tipa-vgbk-2-v-rossijskoj-federacii/> (дата обращения: 08.02.2023).

кишечном тракте отмечают катаральное воспаление [3, 9].

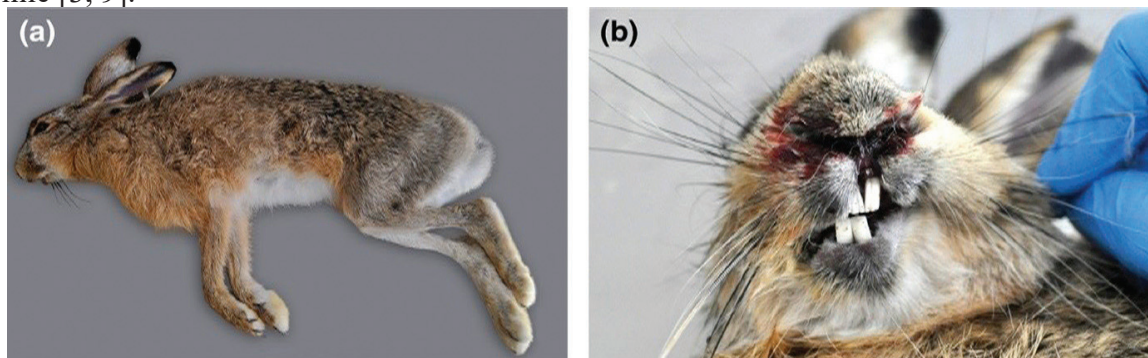


Рис. 2. Заяц-русак, погибший от RHDV-GI.2: а – общий вид; б – кровавистые носовые истечения [38]

Brown hare killed by RHDV-GI.2: a – general appearance; b – bloody nasal discharge [38]

Типичная макроскопическая картина при вскрытии кролика зараженного RHDV представлена на рис. 3. Печень бледная (отмечена стрелкой вниз), с выраженным ретикулярным

рисунком, в легких обнаруживаются мультифокальные кровоизлияния (отмечены стрелкой вверх), в брюшной полости обнаруживается кровь [9, 15].

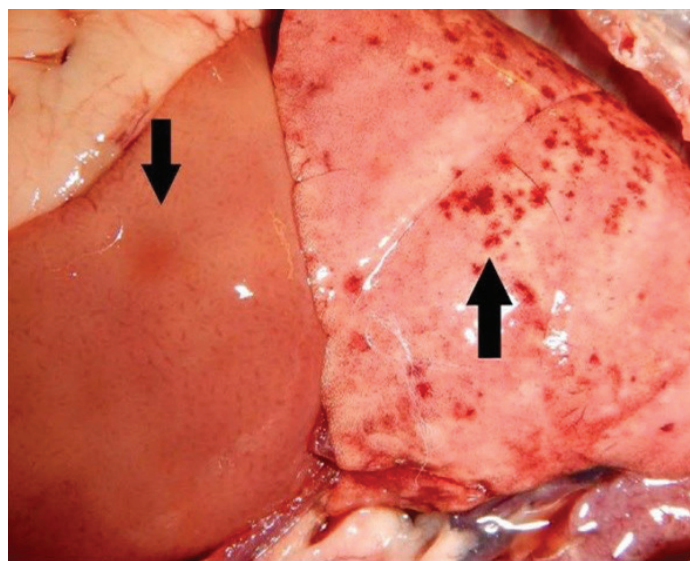


Рис. 3. Картина вскрытия павшего кролика: стрелками показаны геморрагии в паренхиме печени и тканях легких [9]

Autopsy pictures of a dead rabbit: arrows show haemorrhages in the liver parenchyma and lung tissues [9]

В гистологических срезах печени обнаруживают диффузный, панлобулярный, некротизирующий гепатит с массивным застоем крови в капиллярах (рис. 4). В почках внутри гломерулярных пучков (которые отмечены знаком ► на рис. 5) обнаруживают гиалиновые тромбы в гломерулярных капиллярах.

При заражении EBHSV чаще наблюдается литический некроз печеночных долей, жировая дистрофия и гиперемия печени, чем при ин-

фицировании RHDV GI.2, однако определить возбудителя только по патолого-анатомической картине или гистологическим срезам не представляется возможным [40].

Доброкачественные вирусы GI.4, GI.3 и EBHSV GI.2, имеют тропизм к кишечнику и не вызывают заболеваний и патологических изменений. При этом их можно выделить из кишечника и фекалий инфицированных особей [33].

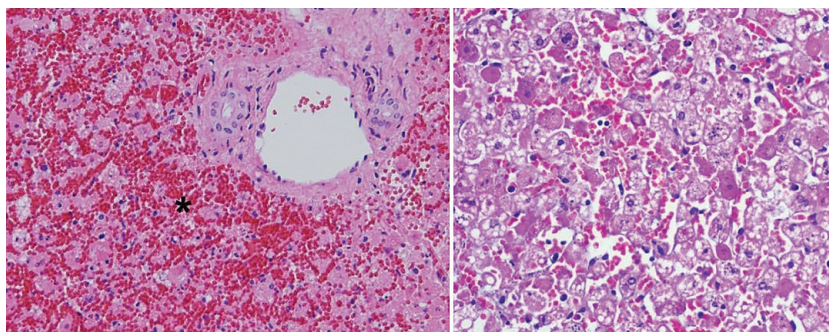


Рис. 4. Микроскопическая картина печени инфицированного RHDV GI.2 кролика. Окраска гематоксилин-эозином. Левый срез – увеличение x20, правый – x40 [9].

Microscopic picture of the liver of an RHDV GI.2 infected rabbit. Hematoxylin-eosin staining. Left slice – magnification x20, right – x40 [9].

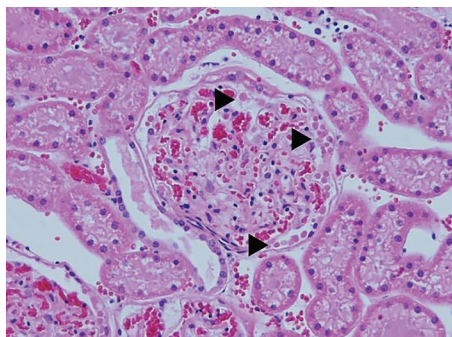


Рис. 5. Микроскопическая картина почки зайца-беляка, инфицированного RHDV GI.2. Окраска гематоксилин-эозином, увеличение x40 [9, 15]

Microscopic picture of the liver of an RHDV GI.2 infected rabbit. Hematoxylin-eosin staining. Left slice – magnification x20, right – x40 [9, 15]

Иммунитет. У кроликов, выживших после инфицирования RHDV-GI.1, вырабатывается устойчивый иммунитет, в том числе и к родственным штаммам, но не к RHDV-GI.2, который вызывает болезнь с высокой вероятностью летального исхода, в том числе у молодых особей от привитых крольчих. RHDV-GI.2 способен также вызвать болезнь у кроликов, вакцинированных от RHDV-GI.1, не исключая смертельные исходы¹.

Иммунизация матери способствует образованию иммунитета у потомства. Кроме того, IgG проходят через плаценту и сохраняются длительное время после родов, защищая потомство. Эта ситуация наблюдается как с вирусом RHD-GI.1, так и с RHD-GI.2. Пассивная иммунизация снижает тяжесть течения и сводит к нулю число смертельных исходов болезни,

причём это справедливо для обоих типов вирусов [41].

Диагностика. При подозрении на ВГБК для постановки окончательного диагноза проводят лабораторные исследования. Павших животных вскрывают с последующим отбором патолого-анатомического материала. Предпочтительным материалом для исследования являются печень, селезёнка, лёгкие, вирус длительное время обнаруживается в фекалиях, возможно обнаружение в моче. Кроме того, вирус можно обнаружить в крови переболевших кроликов в течение длительного времени методом ПЦР-диагностики. Печень содержит самый высокий вирусный титр (от 10^3 LD₅₀ до 10^6 LD₅₀ / мл 10%-го гомогената), как при RHD, так и при EBHS. Количество вируса, присутствующего в других частях тела, прямо пропорционально их васкуляризации [2, 18, 33, 42].

¹ Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals 2018. Chapter 2.6.2. Rabbit haemorrhagic disease. OIE – World Organisation for Animal Health. -2016. URL: http://www.oie.int/fi leadmin/Home/ eng/Health_standards/tahm/2.06.02_RHD. pdf. (Дата обращения: 11.11.2022).

В дальнейшем применяют вирусовыделение, серологические методы (иммуноферментный анализ (ELISA), реакции иммунофлюоресценции и вируснейтрализации), метод полимеразной цепной реакции (ПЦР) с обратной транскрипцией, методы основанные на SYBR Green или методы TaqMan [33, 34, 43]. Косвенно диагностировать ВГБК можно посредством непрямого иммунофлуоресцентного анализа, ELISA [5, 35]. В некоторых случаях возможно проведение РГА, однако при отборе проб от хронически больных животных высока вероятность ложноотрицательных результатов [24]. Если методы РГА или ИФА не дают нужного результата, применяют вестерн-блоттинг, по результатам которого ставят окончательный диагноз [23].

Для диагностики EBHSV возможно применение RHD-специфического ИФА, осуществляемого «сэндвич» – методом, однако, вследствие значительных антигенных различий RHDV и EBHSV существует риск получить ложноотрицательный результат, что ещё раз косвенно указывает на тесную связь антигенов рассматриваемых вирусов [23].

Целью молекулярного обнаружения RHDV и EBHSV является ген VP60. Его идентифицируют методами RT-PCR и RT-qPCR с одним зондом. Этот метод можно использовать в качестве диагностического инструмента для идентификации вирусов [22].

EBHSV можно обнаружить методом электронной микроскопии, а для его идентификации применить метод IEM (Immune electron microscopy — иммуноэлектронная микроскопия) с использованием реконвалесцентной сыворотки, содержащей антитела к EBHSV, или специфических к данному вирусу моноклональных антител. Используя антисыворотки, специфические к EBHSV и RHDV, можно дифференцировать два указанных вируса [9, 10].

Контроль, профилактика и меры борьбы. Единственным эффективным способом борьбы с ВГБК является специфическая профилактика. Немалую роль в распространении инфекции играет изучение эпизоотического процесса и миграции животных переносчиков [32].

После вспышки RHD, особенно если возбудителем является RHDV-GI.2, необходимо применить строгие санитарно-гигиенические меры, такие как механическая очистка, дезинфекция, безопасная утилизация туш. Перед пополнением поголовья настоятельно рекомендуется вакцинировать животных в возрасте 30–40 дней, поскольку частота случаев повторного заражения очень высока. Прекращать вакци-

нацию животных целесообразно только после нескольких производственных циклов. Чтобы проверить, сохраняется ли в хозяйстве присутствие патогенных вирусов RHD, оставляют невакцинированными некоторое количество кроликов, начиная с небольшой сигнальной группы. Учитывая, что иммунитет возникает примерно через 7–10 дней, вакцинация может рассматриваться также в качестве эффективной постконтактной профилактики [1, 5].

В странах с высоким риском заболевания ВГБК осуществляется контроль болезни на животноводческих комплексах и у домашних кроликов путём вакцинации соответствующей вакциной. По рекомендации большинства производителей, вакцинацию проводят один раз в год. Первая инъекция проводится в возрасте 2–3 месяцев. В благополучных по RHD районах и с отрицательными результатами серологических исследований на антитела вакцинируют только племенное поголовье. Вакцинация животных на откорме не производится ввиду их короткого жизненного цикла, поскольку до возраста 6–8 недель существует колостральный иммунитет, полученный от матери [6, 44].

В странах ЕС для изготовления вакцины используют следующие штаммы вирусов [7, 28, 29]:

- RHDV GI.1 «Eisenhüttenstadt» инактивированный;
- вируса миксомы «CAMP V-219» аттенуированный;
- RHDV GI.1 «CAMP V-351» инактивированный;
- RHDV GI.1 «Eisenhüttenstadt» инактивированный;
- RHDV GI.1 «CAMP V-351» инактивированный;
- RHDV GI.2 «V-1037» инактивированный;
- RHDV GI.1 «IM507.SC.2011» инактивированный;
- RHDV GI.2 «LP.SV.2012» инактивированный.

В Китае существует бакуловирусная векторная инактивированная вакцина вируса геморрагической болезни кроликов (штамм re-Bac VP60), производящаяся в Qingdao Yibang Biological Engineering Co., Ltd., зарегистрированная в 2020 г. [12].

В России для профилактики ВГБК используются вакцины на основе полевых штаммов,

выделенных от павших кроликов и стандартизированные по биологической активности в соответствии с рекомендациями МЭБ. К ним относятся: Воронежский-87, Белгород-03, Владимир-2000, Манихино-09, Шевченко-2014 [31, 32].

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии» производит и выпускает вакцину против ВГБК (GI.1 и GI.2). Организация выпускает также ассоциированную вакцину против миксоматоза и ВГБК¹.

ООО «Торговый дом «БиАгро» выпускает вакцину «Раббивак – V» против ВГБК (GI.1), содержащую штамм Владимир-2000.

Ограничить распространение заболевания помогает сывороточная терапия, которая обеспечивает быстро возникающую, но кратковременную защиту против RHDV. Однако введение сыворотки не отменяет необходимость последующей вакцинации [31, 32].

В РФ мероприятия, направленные на профилактику и ликвидацию очагов вирусной геморрагической болезни кроликов, регулирует приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 23.09.2021 № 647².

ВЫВОДЫ

1. Лаговирuses обладают высоким мутационным потенциалом, что служит основой их природного разнообразия. Относящиеся к роду *Lagovirus* вирусы вызывают такие смертельные заболевания, как синдром коричневой печени европейского зайца и вирусная геморрагическая

болезнь кроликов. Среди возбудителей каждой из болезней выделяют по два генотипа. Только первый генотип ВГБК (GI.1) вызывает болезнь у узкого круга хозяев – домашних и диких кроликов. Оба генотипа вируса синдрома коричневой печени (GI.1 и GI.2) и второй генотип ВГБК (GI.2) поражают широкий спектр восприимчивых животных. Последний появился сравнительно недавно, но уже изменил специфичность болезни, став патогенным не только для семейства зайцевых, но и поражая виды других таксономических групп. Таким образом, вирус второго типа приобрел эволюционное преимущество и важное эпизоотологическое значение. Кроме этого RHDV-GI.2, вызывает болезнь у привитых или переболевших ранее RHDV-GI.1 кроликов, в результате чего RHDV-GI.2 постепенно вытесняет RHDV-GI.1 из восприимчивых популяций.

2. Эпизоотологическое значение лаговирuses подчеркивает многообразие путей их передачи и широкое распространение в странах мира. При этом схожая симптоматика и патологические изменения диктуют необходимость проведения лабораторных исследований, которые осуществляют методами ПЦР, ИФА, РГА.

3. Контроль заноса и распространения лаговиральных инфекций основан на регулярной вакцинации поголовья, соблюдении санитарных норм и жёстком карантине вновь прибывших животных. В случае возникновения вспышки рекомендуется убой всего поголовья, дезинфекция инвентаря, одежды и помещений, в которых содержались животные, и соблюдение карантина перед завозом нового поголовья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Virus taxonomy: Classification and Nomenclature of Viruses* / M.J. King, A. M. Q. Adams, E.B. Carstens, E.J. Lefkowitz // Ninth Report of the International Committee On Taxonomy of Viruses. – Elsevier Academic Press, San Diego, 2012. – P. 977–986.
2. *Field and experimental data indicate that the eastern cottontail (Sylvilagus floridanus) is susceptible to infection with European brown hare syndrome (EBHS) virus and not with rabbit haemorrhagic disease (RHD) virus* / A. Lavazza, –P. Cavadini, I. Barbieri, [et al.] // Veterinary Research. – 2015. – Vol. 13. – DOI: 10.1186/s13567-015-0149-4.
3. *Proposal for a unified classification system and nomenclature of lagoviruses* / J. Le Pendu, J. Abrantes i [et al.] // Journal of General Virology. – 2017. – Vol. 98 (7). – P. 1658–1666. – DOI: 10.1099/jgv.0.000840.

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии» <https://ficvim.ru/produkt/vaccine-vgbk-liquid/>

²Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 23.09.2021 № 647 «Об утверждении Ветеринарных правил осуществления профилактических, диагностических, ограничительных и иных мероприятий, установления и отмены карантина и иных ограничений, направленных на предотвращение распространения и ликвидацию очагов вирусной геморрагической болезни кроликов» (зарегистрирован 28.10.2021 № 65614).

4. *Macrophage tropism of rabbit hemorrhagic disease virus is associated with vascular pathology* / F. Ramiro-Ibáñez, J.M. Martín-Alonso, P. García Palencia, F. Parra, C. Alonso // *Virus Res.* – 1999. – Vol. 60 (1). – P. 21–28. – DOI: 10.1016/S0168-1702(98)00144-0.
5. *Rabbit hemorrhagic disease virus 2 (RHDV-GI.2; GI.2) is replacing endemic strains of RHDV in the Australian landscape within 18 months of its arrival* / J. Mahar, E. Hall, R.N. Peacock [et al.] // *Journal of Virology.* – 2018. – Vol. 92 (2). – P. 1374–1417. – DOI: 10.1128/jvi.01374-17.
6. *Arrival of rabbit haemorrhagic disease virus 2 to northern Europe: Emergence and outbreaks in wild and domestic rabbits (Oryctolagus cuniculus) in Sweden* / A.S. Neimanis, H. Ahola, S. Zohari [et al.] // *Transboundary and Emerging Diseases.* – 2018. – Vol. 65(1). – P. 213–220. – DOI: 10.1111/tbed.12650.
7. *Proposal for a Unified Classification System and Nomenclature of Lagoviruses* / J. Le Pendu, J. Abrantes, S. Bertagnoli, J.S. Guitton, [et al.] // *J. Gen. Virol.* – 2017. – P. 1658–1666. – DOI: 10.1099/jgv.0.000840.
8. *Molecular Evolution and Antigenic Variation of European Brown Hare Syndrome Virus (EBHSV)* / A.M. Lopes, L. Capucci, D. Gavier-Widén, G. le Gall-Reculé [et al.] // *Virology.* – 2014. – P. 468–470. – DOI: 10.1016/j.virol.2014.08.002.
9. *Comparative analysis of rabbit hemorrhagic disease virus (RHDV) and new RHDV-GI.2 virus antigenicity, using specific virus-like particles* / J. Bárcena, B. Guerra, I. Angulo, J. González, [et al.] // *Vet Res.* – 2015. – Vol. 46. – P. 106. – doi.org/10.1186/s13567-015-0245-5.
10. *Overcoming Species Barriers: An Outbreak of Lagovirus Europaeus GI.2/RHDV-GI.2 in an Isolated Population of Mountain Hares (Lepus Timidus)* / A.S. Neimanis, H. Ahola, U.L. Pettersson, A.M. Lopes [et al.] // *BMC Vet. Res.* – 2018. – Vol. 14. – P. 1–12. – DOI: 10.1186/s12917-018-1694-7.
11. *Spillover events of rabbit haemorrhagic disease virus 2 (recombinant GI.4P-GI.2) from Lagomorpha to Eurasian badger* / F.A. Abade Dos Santos, A. Pinto, T. Burgoyne [et al.] // *Transboundary and Emerging Diseases.* – 2022. – Vol. 69. – P. 1030–1045. – DOI:10.1111/tbed.14059.
12. *Rabbit Hemorrhagic Disease Virus Isolated from Diseased Alpine Musk Deer (Moschus sifanicus)* / S. Bao, K. An, C. Liu [et al.] // *Viruses.* – 2020. – Vol. 12 (8). – P. 897. – doi.org/10.3390/v12080897.
13. *Experimental transmission of rabbit haemorrhagic disease virus (RHDV) from rabbit to wild mice (Mus spretus and Apodemus sylvaticus) under laboratory conditions* / G. Rocha, F. Alda, A. Pagés, T. Merchán // *Infection, Genetics and Evolution.* – 2017. – Vol. 47. – P. 94–98. – https://doi.org/10.1016/j.meegid.2016.11.016.
14. *Detection of rabbit haemorrhagic disease virus (RHDV) in nonspecific vertebrate hosts sympatric to the European wild rabbit (Oryctolagus cuniculus)* / T. Merchán, G. Rocha, F. Alda, E. Silva [et al.] // *Infection, Genetics and Evolution.* – 2011. – Vol. 11, Is. 6, – P. 1469–1474. – https://doi.org/10.1016/j.meegid.2011.05.001.
15. *Lagovirus europeus GI.2 (rabbit hemorrhagic disease virus 2) infection in captive mountain hares (Lepus timidus) in Germany* / B. Melanie, T.J. Sonja, H. Kueck [et al.] // *BMC Vet Res* 16. – 2020. – doi.org/10.1186/s12917-020-02386-4.
16. *Binding of Rabbit Hemorrhagic Disease Virus to Antigens of the ABH Histo-Blood Group Family* / N. Ruvoën-Clouet, J.P. Ganière, G. André-Fontaine [et al.] // *J. Virol.* – 2000. – P. 11950–11954. – DOI: 10.1128/jvi.74.24.11950-11954.2000
17. *Seroepidemiologische Untersuchungen zur Verbreitung des European Brown Hare Syndrome (EBHS) und der Rabbit Haemorrhagic Disease (RHD) in Feldhasenbeständen ausgewählter Reviere in der Bundesrepublik Deutschland* / U. Eskens, K. Frölich, B. Kugel [et al.] // *Zeitschrift für Jagdwissenschaft.* – 2000. – Vol. 46. – P. 61–72. – doi.org/10.1007/BF02241569.
18. *Frölich K., Lavazza A. European brown hare syndrome* // *Lagomorph Biology.* – Springer, Berlin/Heidelberg. Germany, 2008. – P. 253–261. – DOI: 10.1007/978-3-540-72446-9_17.
19. *Red foxes (Vulpes Vulpes) feeding brown hares (Lepus Europaeus) infected by European Brown hare syndrome virus (EBHSV) might be involved in the indirect transmission of the disease* / M. Chiari, S. Molinari, P. Cavadini [et al.] // *Eur. J. Wildl. Res.* – 2016. – DOI:10.1007/s10344-016-1055-4.

20. *Recherche* du virus de la maladie hémorragique virale du lapin (RHD) chez le renard et rôle des canidés domestiques dans la transmission de la maladie / M.D.C. Simón, R. Muguruza, J.L. Alonso [et al.] // *Rec. Méd. Vét.* – 1994. – Vol. 179. – P. 841–845.
21. *Potential* role of wolf (*Canis lupus*) as passive carrier of European brown hare syndrome virus (EBHSV) / F. Di Profio, I. Melegari, V. Sarchese [et al.] // *Research in Veterinary Science.* – 2018. – Vol. 117. – P. 81–84. – DOI: 10.1016/j.rvsc.2017.11.016.
22. *A new* viral disease in rabbits / S.J. Liu, H.P. Xue, B.Q. Pu, N.H. Qian // *Animal Husbandry and Veterinary Medicine (Xumu yu Shouyi).* – 1984. – Vol. 16, N 6. – P. 253–255.
23. Rabbit haemorrhagic disease (RHD) and rabbit haemorrhagic disease virus (RHDV) / J. Abrantes, W. van der Loo, J. Le Pendu [et al.] // *Vet Res.* – 2012. – N 43 (12). – doi.org/10.1186/1297-9716-43-12.
24. *Molecular* evolution and antigenic variation of European brown hare syndrome virus (EBHSV) / A.M. Lopesa, L.C. Dolores, G.-W. Ghislaine, Le Gall-Reculégh [et al.] // *Virology.* – 2014. – Vol. 468–470. – P. 104–112. – DOI: 10.1016/j.virol.2014.08.002.
25. *Emergence* of anew lagovirus related to rabbit haemorrhagic disease virus / Le Gall-Reculé, G. Lavazza, A. Marchandeau [et al.] // *Veterinary Research.* – 2013. – Vol. 81. – P. 44–81. – doi.org/10.1186/1297-9716-44-81.
26. *Evidence* for European brown hare syndrome virus introduction with translocated brown hares (*Lepus europaeus*): implications for management of restocking operations / V. Spyrou, C. Stamatis, P. Birtsas [et al.] // *Wildlife Research,* – 2013. – Vol. 40 (7). – P. 545. – DOI: 10.1071/WR12152.
27. *Emergence* of rabbit haemorrhagic disease virus 2 in the archipelago of Madeira / C.L. Carvalho, S. Silva, P. Gouveia [et al.] // *Portugal. Virus Genes.* – 2017. – N 53. – P. 922–926. – doi.org/10.1007/s11262-017-1483-6.
28. *Incursion of RHDV-GI.2-like* variant in great Britain / D.G. Westcott, J.P. Frossard, D. Everest [et al.] // *Vet. Rec.* – 2014. – N 174. – P. 333. – DOI: 10.1136/vr.g2345.
29. *Detection* and molecular characterization of a first isolate of rabbit haemorrhagic disease virus in Nigeria / O.B. Daodu, J.O. Shaibu, A.B. Richards [et al.] // *Trop Anim Health Prod.* – 2021. – N 53. – P. 185. – doi.org/10.1007/s11250-021-02606-5.
30. *Emerging* RHDV-GI.2 suppresses the impact of endemic and novel strains of RHDV on wild rabbit populations / S. David, L. Ramsey, T. Cox [et al.] // *J Appl Ecol.* – 2020. – P. 630–641. – doi.org/10.1111/1365-2664.13548.
31. *Ambagala A., Schwantje H., Laurendeau S.* Incursions of rabbit haemorrhagic disease virus 2 in Canada-Clinical, molecular and epidemiological investigation // *Transboundary and Emerging Diseases.* – 2021. – N 68 (4). – P. 1711–1720. – DOI: 10.1111/tbed.14128.
32. *Comparative* analysis of rabbit hemorrhagic disease virus (RHDV) and new RHDV-GI.2 virus antigenicity, using specific virus-like particles / J. Bárcena, B. Guerra, I. Angulo [et al.] // *Vet Res.* – 2015. – Vol. 106, N 46 (106). – doi.org/10.1186/s13567-015-0245-5.
33. *Emergence* of rabbit haemorrhagic disease virus 2 in China in 2020 / B. Hu, H. Wei, Z. Fan [et al.] // *Vet Med Sci.* – 2021. – P. 236–239. – DOI: 10.1002/vms3.332.
34. *Вспышка* заболевания, вызванная вирусом геморрагической болезни кроликов 2-го генотипа на территории РФ / А.Н. Мухин, А.Г. Южаков, Е.В. Селезнева [и др.] // *Аграрная наука.* – 2021. – № 4. – С. 25–27. – doi.org/10.32634/0869-8155-2021-348-4-25-27.
35. *Immunisation* against RHDV-GI.2 Induces Protection against Disease but Not Infection / R.N. Hall, T. King, W. Tiffany O'Connor [et al.] // *Vaccines* 9. – 2021. – N 10. – P. 1197. – doi.org/10.3390/vaccines9101197.
36. *Биологические* и генетические особенности актуального для Российской Федерации вируса геморрагической болезни кроликов / И.А. Сливко, Е.А. Балашова, С.П. Живодёров [и др.] // *Ветеринария.* – 2020. – № 8. – С. 20–25.
37. *The discovery* of three new hare lagoviruses reveals unexplored viral diversity in this genus / E.M. Jackie, N.H. Robyn, S. Mang [et al.] // *Virus Evolution.* – 2019. – Vol. 5, Is. 1. – vez005. – doi.org/10.1093/ve/vez005.

38. *Spillover* events of infection of Brown hares (*Lepus europaeus*) with rabbit Haemorrhagic disease type 2 virus (RHDV-GI.2) caused sporadic cases of an European Brown hare syndromelike disease in Italy and Spain / R. Velarde, P. Cavadini, A. Neimanis [et al.] // *Transbound Emerg Dis.* – 2017. – Vol. 64 (6). – 1750–1761.
39. *Establishment* of a duplex TaqMan RT-PCR for the differential detection of RHDV GI.1 and GI.2. / J. Zhou, Ma. Yanjun, M. Wang [et al.] // *Journal of Virological Methods.* – 2022. – Vol. 304. – doi.org/10.1016/j.jviromet.2022.114526.
40. Ueda K., Park H., Ochiai K., Itakura C. Disseminated intravascular coagulation (DIC) in rabbit haemorrhagic disease // *Jpn. J. Vet. Res.* – 1992. – P. 133–141.
41. Niedźwiedzka-Rystwej P., Deptuła W. Apoptosis of Peripheral Blood Leukocytes from Rabbits Infected with Non-Haemagglutinating Strains of Rabbit Haemorrhagic Disease Virus (RHDV) // *Vet. Immunol. Immunopathol.* – 2012. №149, –P. 54–57, –doi: 10.1016/j.vetimm.2012.06.012.
42. Teixeira L., Marques R.M., Águas A.P., Ferreira P. G. Regulatory T Cells Are Decreased in Acute RHDV Lethal Infection of Adult Rabbits // *Vet. Immunol. Immunopathol.* – 2012. – № 148. – P. 343–347. – doi: 10.1016/j.vetimm.2012.05.006.
43. Fuchs A., Weissenböck H. Comparative histopathological study of rabbit haemorrhagic disease (RHD) and European brown hare syndrome (EBHS) // *J Comp Pathol.* – 1992. – Vol. 107 (1), –P. 103–113.
44. *RHDV-GI.2* overcoming RHDV immunity in wild rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) in Australia / D. Peacock, J. Kovaliski, R. Sinclair [et al.] // *Vet. Rec.* – 2017. – N 180, – P. 280, – DOI: 10.1136/vr.104135.

REFERENCE

1. King M.J., Adams A.M.Q., Carstens E.B., Lefkowitz E.J., *Virus taxonomy: Classification and Nomenclature of Viruses*, Ninth Report of the International Committee On Taxonomy of Viruses, Elsevier Academic Press, San Diego, 2012, pp. 977–986.
2. Lavazza A., Cavadini P., Barbieri I. [et al.], Field and experimental data indicate that the eastern cottontail (*Sylvilagus floridanus*) is susceptible to infection with European brown hare syndrome (EBHS) virus and not with rabbit haemorrhagic disease (RHD) virus, *Veterinary Research*, 2015, Vol. 13, DOI: 10.1186/s13567-015-0149-4.
3. Le Pendu J., Abrantes J. [et al.], Proposal for a unified classification system and nomenclature of lagoviruses, *Journal of General Virology*, 2017, Vol. 98 (7), pp 1658–1666, DOI: 10.1099/jgv.0.000840.
4. Ramiro-Ibáñez F., Martín-Alonso J.M., García Palencia P., Parra F., Alonso C., Macrophage tropism of rabbit hemorrhagic disease virus is associated with vascular pathology, *Virus Res*, 1999, Vol. 60 (1), P. 21–28, DOI: 10.1016/S0168-1702(98)00144-0.
5. Mahar J., Hall E., Peacock R.N. [et al.], Rabbit hemorrhagic disease virus 2 (RHDV-GI.2; GI.2) is replacing endemic strains of RHDV in the Australian landscape within 18 months of its arrival, *Journal of Virology*, 2018, Vol. 92 (2), P. 1374–1417, DOI: 10.1128/jvi.01374-17.
6. Neimanis A.S., Ahola H., Zohari S. [et al.], Arrival of rabbit haemorrhagic disease virus 2 to northern Europe: Emergence and outbreaks in wild and domestic rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) in Sweden, *Transboundary and Emerging Diseases*, 2018, Vol. 65 (1), pp. 213–220, DOI: 10.1111/tbed.12650.
7. Pendu J., Le, Abrantes J., Bertagnoli S., Guitton J.S. [et al.], Proposal for a Unified Classification System and Nomenclature of Lagoviruses, *J. Gen. Virol*, 2017, pp. 1658–1666, DOI: 10.1099/jgv.0.000840.
8. Lopes A.M., Capucci L., Gavier-Widén D., le Gall-Reculé G. [et al.], Molecular Evolution and Antigenic Variation of European Brown Hare Syndrome Virus (EBHSV), *Virology*, 2014, pp. 468–470, DOI: 10.1016/j.virol.2014.08.002.
9. Bárcena J., Guerra B., Angulo I. [et al.], Comparative analysis of rabbit hemorrhagic disease virus (RHDV) and new RHDV-GI.2 virus antigenicity, using specific virus-like particles, *Vet Res*, 2015, Vol. 46 (106).

10. Neimanis A.S., Ahola H., Pettersson U.L. [et al.], Overcoming Species Barriers: An Outbreak of Lagovirus Europaeus GI.2/RHDV-GI.2 in an Isolated Population of Mountain Hares (*Lepus timidus*), *BMC Vet. Res.*, 2018, Vol. 14, P. 1–12.
11. Abade Dos Santos F.A., Pinto A., Burgoyne T., Dalton K.P., [et al.], Spillover events of rabbit haemorrhagic disease virus 2 (recombinant GI.4P-GI.2) from Lagomorpha to Eurasian badger, *Transboundary and Emerging Diseases*, 2022, Vol. 69, pp. 1030–1045.
12. Bao S., An K., Liu C., Xing X. [et al.], Rabbit Hemorrhagic Disease Virus Isolated from Diseased Alpine Musk Deer (*Moschus sifanicus*), *Viruses*, 2020, pp. 897.
13. Rocha G., Alda F., Pagés A., Merchán T., Experimental transmission of rabbit haemorrhagic disease virus (RHDV) from rabbit to wild mice (*Mus spretus* and *Apodemus sylvaticus*) under laboratory conditions, *Infection, Genetics and Evolution*, 2017, Vol. 47, pp. 94–98.
14. Merchán T., Rocha G., Alda F. [et al.], Detection of rabbit haemorrhagic disease virus (RHDV) in nonspecific vertebrate hosts sympatric to the European wild rabbit (*Oryctolagus cuniculus*), *Infection, Genetics and Evolution*, 2011, Vol. 11, Is. 6, pp. 1469–1474.
15. Melanie B., Sonja T.J., Kueck H. [et al.], Lagovirus europeus GI.2 (rabbit hemorrhagic disease virus 2) infection in captive mountain hares (*Lepus timidus*) in Germany, *BMC Vet Res* 16, 2020.
16. Binding of Rabbit Hemorrhagic Disease Virus to Antigens of the ABH Histo-Blood Group Family/ N. Ruvoën-Clouet, J.P. Ganière, G. André-Fontaine, D. Blanchard, [et all.] // *J. Virol.*, -2000. –P. 11950–11954, -doi: 10.1128/jvi.74.24.11950-11954.2000.
17. Seroepidemiologische Untersuchungen zur Verbreitung des European Brown Hare Syndrome (EBHS) und der Rabbit Haemorrhagic Disease (RHD) in Feldhasenbeständen ausgewählter Reviere in der Bundesrepublik Deutschland/ U. Eskens, K. Frölich, B. Kugel, [et all.] // *Zeitschrift für Jagdwissenschaft*, -2000. Vol. 46, –P. 61–72, -doi.org/10.1007/BF02241569.
18. K. Frölich A., Lavazza A. European brown hare syndrome // *Lagomorph Biology*, Springer, Berlin/Heidelberg. Germany, -2008. –P. 253–261, -doi: 10.1007/978-3-540-72446-9_17.
19. Red foxes (*Vulpes Vulpes*) feeding brown hares (*Lepus Europaeus*) infected by European Brown hare syndrome virus (EBHSV) might be involved in the indirect transmission of the disease/ M. Chiari, S. Molinari, P. Cavadini, B. Bertasi, [et all.] // *Eur. J. Wildl. Res.* -2016, -doi:10.1007/s10344-016-1055-4
20. Recherche du virus de la maladie hémorragique virale du lapin (RHD) chez le renard et rôle des canidés domestiques dans la transmission de la maladie/ M.D.C. Simón, R. Muguruza, J.L. Alonso, C. Muzquiz, [et all.] // *Rec. Méd. Vét.*, -1994. Val. 179, –P. 841–845.
21. Potential role of wolf (*Canis lupus*) as passive carrier of European brown hare syndrome virus (EBHSV)/ F. Di Profio, I. Melegari, V. Sarchese, [et all.] // *Research in Veterinary Science*, -2018. Vol. 117, –P. 81–84, -doi: 10.1016/j.rvsc.2017.11.016.
22. Liu S.J., Xue H.P., Pu B.Q., Qian N.H. A new viral disease in rabbits// *Animal Husbandry and Veterinary Medicine (Xumu yu Shouyi)*, - 1984. - V. 16, - № 6. - –P. 253–255
23. A review. Rabbit haemorrhagic disease (RHD) and rabbit haemorrhagic disease virus (RHDV)/ J. Abrantes, W. van der Loo, J. Le Pendu, [et all.] // *Vet Res.*, -2012. № 43 (12), -doi.org/10.1186/1297-9716-43-12.
24. Molecular evolution and antigenic variation of European brown hare syndrome virus (EBHSV)/ A.M. Lopesa, L.C. Dolores, G.-W. Ghislaine, Le Gall-Reculégh, [et all.]// *Virology*, -2014. Vol. 468–470, –P. 104–112, -doi: 10.1016/j.virol.2014.08.002.
25. Emergence of anew lagovirus related to rabbit haemorrhagic disease virus/ Le Gall-Reculé, G. Lavazza, A. Marchandeanu, [et all.] // *VeterinaryResearch*, -2013. Art. num.: 81, –P. 44–81, - doi.org/10.1186/1297-9716-44-81
26. Evidence for European brown hare syndrome virus introduction with translocated brown hares (*Lepus europaeus*): implications for management of restocking operations/ V. Spyrou, C. Stamatidis, P. Birtsas, V. Psychas, K. Manolakou, [et all.] // *Wildlife Research*, -2013. Val. 40(7), p. 545, -doi: 10.1071/WR12152.
27. Emergence of rabbit haemorrhagic disease virus 2 in the archipelago of Madeira/ Carvalho, C.L., Silva, S., Gouveia, –P. [et all.] // *Portugal (2016–2017). Virus Genes*, -2017. № 53, –P. 922–926. -doi.org/10.1007/s11262-017-1483-6.

28. Incursion of RHDV-GI.2-like variant in Great Britain/ D.G. Westcott, J.P. Frossard, D. Everest, A. Dastjerdi, [et al.] // *Vet. Rec.*, -2014. № 174, –P. 333, -doi: 10.1136/vr.g2345
29. Detection and molecular characterization of a first isolate of rabbit haemorrhagic disease virus in Nigeria/ Daodu, O.B., Shaibu, J.O., Richards, A.B. [et al.]. // *Trop Anim Health Prod.*, -2021. No.53, –P. 185, -doi.org/10.1007/s11250-021-02606-5
30. Emerging RHDV-GI.2 suppresses the impact of endemic and novel strains of RHDV on wild rabbit populations/ S. David, L. Ramsey, T. Cox, T. Strive, [et al.] // *J Appl Ecol.* -2020. –P. 630 – 641. -doi.org/10.1111/1365-2664.13548.
31. Ambagala A., Schwantje H., Laurendeau S. Incursions of rabbit haemorrhagic disease virus 2 in Canada-Clinical, molecular and epidemiological investigation // *Transboundary and Emerging Diseases*, -2021. № 68(4), –P. 1711– 1720, -doi: 10.1111/tbed.14128.
32. Comparative analysis of rabbit hemorrhagic disease virus (RHDV) and new RHDV-GI.2 virus antigenicity, using specific virus-like particles/ J. Bárcena, B. Guerra, I. Angulo, J. González, [et al.] // *Vet Res.*, -2015 Art. num.: 106, №46 (106). -doi.org/10.1186/s13567-015-0245-5
33. Emergence of rabbit haemorrhagic disease virus 2 in China in 2020/ B. Hu, H. Wei, Z. Fan, Y. Song, [et al.] // *Vet Med Sci.* -2021. –P. 236– 239, -doi: 10.1002/vms3.332
34. Vspyshka zabolevaniya, vyzvannaya virusom gemorragicheskoy bolezni krolikov 2-go genotipa na territorii RF/ A.N. Muhin, A.G. YUzhakov, E.V. Selezneva, E.I. Drozdova, [i dr.]// *Agrarnaya nauka*, -2021. № 4.S. 25-27. -doi.org/10.32634/0869-8155-2021-348-4-25-27
35. Immunisation against RHDV-GI.2 Induces Protection against Disease but Not Infection/ R.N. Hall, T. King, W. Tiffany O'Connor, [et al.] // *Vaccines* 9, -2021. no. 10, –P. 1197, -doi.org/10.3390/vaccines9101197.
36. Biologicheskie i geneticheskie osobennosti aktual'nogo dlya Rossijskoj Federacii virusa gemorragicheskoy bolezni krolikov/ I.A. Slivko, E.A. Balashova, S.P. Zhivodyorov, G.S. Kol'cova, [i dr.] // *Veterinariya*, -2020. № 8, S. 20-25
37. The discovery of three new hare lagoviruses reveals unexplored viral diversity in this genus/ E.M. Jackie, N.H. Robyn, S. Mang, [et al.] // *Virus Evolution*. Volume 5. Iss. 1. -2019. vez005, -doi.org/10.1093/ve/vez005
38. Spillover events of infection of Brown hares (*Lepus europaeus*) with rabbit Haemorrhagic disease type 2 virus (RHDV-GI.2) caused sporadic cases of an European Brown hare syndromelike disease in Italy and Spain/ R. Velarde, P. Cavadini, A. Neimanis, O. Cabezón, [et al.]// *Transbound Emerg Dis.* 2017;64(6):1750–61
39. Establishment of a duplex TaqMan RT-PCR for the differential detection of RHDV GI.1 and GI.2./ J. Zhou, Ma Yanjun, M. Wang, Y. Zhang, [et al.]// *Journal of Virological Methods*, -2022. Vol. 304, ISSN 0166-0934, -doi.org/10.1016/j.jviromet.2022.114526.
40. Ueda K., Park H., Ochiai K., Itakura C. Disseminated intravascular coagulation (DIC) in rabbit haemorrhagic disease // *Jpn. J. Vet. Res.* -1992. –P. 133–141. ISSN: 00471917
41. Niedźwiedzka-Rystwej P., Deptuła W. Apoptosis of Peripheral Blood Leukocytes from Rabbits Infected with Non-Haemagglutinating Strains of Rabbit Haemorrhagic Disease Virus (RHDV) // *Vet. Immunol. Immunopathol.*, -2012. №149, –P. 54–57, -doi: 10.1016/j.vetimm.2012.06.012.
42. Teixeira L., Marques R.M., Águas A.P., Ferreira P. G. Regulatory T Cells Are Decreased in Acute RHDV Lethal Infection of Adult Rabbits // *Vet. Immunol. Immunopathol.*, -2012. № 148, –P. 343– 347, -doi: 10.1016/j.vetimm.2012.05.006.
43. Fuchs A., Weissenböck H. Comparative histopathological study of rabbit haemorrhagic disease (RHD) and European brown hare syndrome (EBHS) // *J Comp Pathol.*, -1992. Vol. 107(1), –P. 103–113
44. RHDV-GI.2 overcoming RHDV immunity in wild rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) in Australia/ Peacock, D.; Kovaliski, J.; Sinclair, R.; [et al.] // *Vet. Rec.*, -2017. № 180, –P. 280, -doi: 10.1136/vr.104135.

ПОДБОР ПРОБИОТИЧЕСКИХ МИКРООРГАНИЗМОВ В СОСТАВ НОВОГО БИОПРЕПАРАТА ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

И.А. Функ, кандидат сельскохозяйственных наук

Е.Ф. Отт, кандидат биологических наук

Федеральный Алтайский научный центр агrobiотехнологий, Барнаул, Россия

E-mail: funk.irishka@mail.ru

Ключевые слова: пробиотические микроорганизмы, биологические свойства, технологически-ценные свойства, активность кислотообразования, ферментативная активность, сохранность.

Реферат. В настоящее время все большую популярность набирает идея здорового питания, что обосновывает интерес со стороны потребителей к экологически чистым и биологически полноценным продуктам животноводства. В связи с этим разработка и применение пробиотических препаратов в кормлении сельскохозяйственных животных и выявление эффективности их использования является актуальной задачей современности. Важным этапом при создании новых биопрепаратов является изучение и подбор штаммов в состав закваски, так как пробиотический эффект микроорганизмов определяется набором биологических свойств, которыми они обладают. В работе изучены биологические и технологически-ценные свойства 12 штаммов лактобацилл и 15 штаммов пропионовокислых бактерий из Сибирской коллекции микроорганизмов лаборатории микробиологии молока и молочных продуктов отдела СибНИИС ФГБНУ ФАНЦА с целью включения их в состав нового пробиотического препарата для сельскохозяйственных животных. В ходе исследований было установлено, что все штаммы молочнокислых палочек активно сбраживали углеводы, встречающиеся в растительных субстратах, а также сохраняли свою численность не ниже терапевтически значимого уровня в течение 60 суток хранения, т.е. проявляли высокую технологичность. Пропионовокислые бактерии проявляли высокие биологические свойства, т.е. обладали способностью к продуцированию витамина B_{12} в количестве от 0,48 до 0,64 мкг/см³ и поддерживали свою жизнеспособность на протяжении 6 месяцев хранения. В результате исследований по наилучшему проявлению технологически-ценных свойств было отобрано 2 штамма молочнокислых палочек (СКМ-673 и СКМ-681) и 3 штамма пропионовокислых бактерий (111, 112, 149), перспективных для включения в состав нового пробиотического препарата для сельскохозяйственных животных.

SELECTION OF PROBIOTIC MICROORGANISMS IN THE COMPOSITION OF A NEW BIOLOGICAL PREPARATION FOR FARM ANIMALS

I.A. Funk, PhD in Agricultural Sciences

E.F. Ott, PhD in Biological Sciences

Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnologies, Barnaul, Russia

E-mail: funk.irishka@mail.ru

Keywords: probiotic microorganisms, biological properties, technologically valuable properties, acid formation activity, enzymatic activity, safety.

Abstract. The idea of a healthy diet is gaining popularity, which justifies consumer interest in environmentally friendly and biologically complete livestock products. In this regard, the development and use of probiotic preparations in feeding farm animals and identifying the effectiveness of their use is an urgent task of our time. An essential step in creating new biological products is the study and selection of strains for the composition of the starter since the probiotic effect of microorganisms is determined by the set of natural properties they possess. In this work, the biological and technologically valuable properties of 12 strains of lactobacilli and 15 strains of propionic acid bacteria from the Siberian collection of microorganisms of the laboratory of the microbiology of milk and dairy products of the SRICM FGBNU FANZA (Siberian Research Institute of Cheese Making of Federal State Budgetary Scientific Institution of Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology) department were studied to include them in the composition of a new probiotic preparation for farm animals. During the research, it was found that all strains of lactic acid rods actively fermented carbohydrates found in plant substrates and maintained their numbers not lower than a therapeutically significant level during 60 days of storage, i.e., showed high technology. Propionic acid bacteria exhibited high biological properties, i.e., they could produce vitamin B12

in amounts from 0.48 to 0.64 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ and maintained their viability during six months of storage. As a result of research on the best manifestation of technologically valuable properties, two strains of lactic acid bacilli (SKM-673 and SKM-681) and three strains of propionic acid bacteria (111, 112, 149) were selected that were promising for inclusion in the composition of a new probiotic preparation for farm animals.

В Российской Федерации закономерно повышаются гигиенические требования к продуктам животноводства, что приводит к увеличению спроса на биологически активные препараты, в частности пробиотики, рассматривающиеся как альтернатива кормовым антибиотикам.

В результате многочисленных опытов, проведенных отечественными и зарубежными исследователями в области кормления, было доказано, что использование пробиотиков в рационах сельскохозяйственных животных способствует лучшему перевариванию и усвоению питательных и биологически активных веществ кормов, нормальному протеканию метаболических процессов и повышению общей резистентности организма. В результате комплексного действия пробиотических препаратов на организм животного повышается выход сельскохозяйственной продукции и улучшается ее качество [1, 2].

Терапевтические свойства пробиотиков обусловлены биологической активностью микрофлоры пробиотического препарата и количественным содержанием в нем микроорганизмов. Как правило, микроорганизмы, проявляющие пробиотические свойства, относятся к представителям родов *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Propionibacterium*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Escherichia*, *Pediococcus* а также дрожжи *Saccharomyces*, которые обеспечивают стабилизацию микрофлоры организма животного, восстанавливают ее нарушенный баланс и стимулируют иммунологическую функцию слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта [3, 4].

Пробиотический эффект микроорганизмов обусловлен набором биологических свойств, которыми они обладают, что важно учитывать при подборе штаммов-пробиотиков при разработке биопрепаратов. Однако не стоит забывать и о технологических свойствах пробиотических микроорганизмов, так как именно они обеспечивают необходимые качественные показатели разрабатываемых препаратов. Считается, что молочнокислые и пропионовокислые бактерии являются наиболее перспективными культурами для включения их в состав пробиотических препаратов для сельскохозяйственных животных. Так, молочнокислые бактерии, в частности лактобациллы, способны образовать антибиотикоподобные вещества и

продуцировать органические кислоты, что является основным механизмом проявления ими антагонистической активности в отношении условно-патогенной и патогенной микрофлоры желудочно-кишечного тракта [5]. К тому же лактобациллы способны ассимилировать углеводы, часто встречающиеся в растительных субстратах, что позволяет им активно расти и развиваться в питательных средах с растительными компонентами, обеспечивая необходимую концентрацию клеток в биопрепаратах. Пропионовокислые бактерии (ПКБ) обладают уникальными биохимическими свойствами. Они способны продуцировать пропионовую, уксусную кислоты, супероксидисмутазу, каталазу, а также витамин B_{12} , который выполняет важные функции в организме человека и животных [6, 7].

Однако стоит отметить, что вышеуказанные свойства лактобацилл и пропионовокислых бактерий у разных штаммов микроорганизмов могут проявляться в большей или меньшей степени.

Таким образом, целью данного исследования является подбор пробиотических микроорганизмов, пригодных для введения в состав нового биопрепарата для сельскохозяйственных животных, по биологическим и технологически-ценным свойствам.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для подбора штаммов пробиотических микроорганизмов с целью включения в состав нового разрабатываемого биопрепарата было изучено 12 культур молочнокислых палочек (*Lactobacillus* spp.) и 15 культур пропионовокислых бактерий из Сибирской коллекции микроорганизмов лаборатории микробиологии молока и молочных продуктов ФГБНУ ФАНЦА отдел СибНИИС.

В ходе работы у исследуемых культур изучали основные биологические и технологически-ценные свойства с применением стандартных методов микробиологического и биохимического анализа. Активную кислотность молочнокислых палочек определяли потенциометрически согласно ГОСТ Р 53359-2009 [8]. Способность сбраживать углеводы как у молочнокислых палочек, так и у пропионовокислых

бактерий, определяли на жидкой питательной среде Гисса согласно методике, описанной Л.А. Банниковой и др. [9]. Продуцирование витамина В₁₂ пропионовокислыми бактериями определяли диффузионным методом с помощью тест-организма *Escherichia coli* 113-3 DSM 1900 (ФГБНУ «ГосНИИгенетика») [10]. Количество молочнокислых палочек и пропионовокислых бактерий в процессе хранения определяли по ГОСТ 10444.11-2013 и ГОСТ Р 56139-2014 [11, 12]. Статистическая обработка полученных данных проведена с помощью программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из положительных свойств лактобактерий является продуцирование ими молочной и других органических кислот, что способствует подавлению посторонней микрофлоры ЖКТ и созданию оптимальных условий для нормального развития остальных представителей симбионтной микрофлоры [13].

Исходя из этого в ходе работы была изучена активность кислотообразования 12 штаммов молочнокислых палочек (*Lactobacillus plantarum*) на стандартной питательной среде, оптимальной для их развития. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Активная кислотность (рН) исследуемых штаммов *L. plantarum*
Active acidity (pH) of the studied *L. plantarum* strains

№ п/п	Индекс штамма	Показатели активной кислотности (рН) в течение 10 сут, ед.								
		μ рН±рН								
		4 ч	8 ч	1 сут	2 сут	3 сут	4 сут	5 сут	7 сут	10 сут
1	СКМ-646	5,87± 0,27	5,38± 0,17	3,66± 0,11	3,41± 0,08	3,34± 0,05	3,28± 0,05	3,29± 0,12	3,29 ±0,09	3,28 ±0,15
2	СКМ-651	5,95± 0,19	5,53± 0,24	3,73± 0,03	3,34± 0,05	3,25± 0,03	3,17± 0,03	3,17± 0,03	3,14± 0,05	3,13± 0,08
3	СКМ-656	5,51± 0,03	4,46± 0,03	3,49± 0,05	3,33± 0,05	3,30± 0,05	3,29± 0,12	3,28± 0,05	3,27± 0,05	3,27± 0,03
4	СКМ-667	5,95± 0,24	5,51± 0,88	4,03± 0,24	3,74± 0,24	3,51± 0,03	3,52± 0,19	3,47± 0,13	3,48± 0,13	3,49± 0,05
5	СКМ-668	5,86± 0,21	5,33± 0,77	3,93± 0,24	3,58± 0,08	3,53± 0,29	3,44± 0,13	3,43± 0,27	3,43± 0,11	3,42± 0,08
6	СКМ-669	4,86± 0,03	4,09± 0,11	3,47± 0,03	3,36± 0,02	3,31± 0,02	3,31± 0,03	3,31± 0,03	3,30± 0,12	3,32± 0,02
7	СКМ-671	5,07± 0,55	4,43± 0,82	3,71± 0,55	3,44± 0,03	3,44± 0,03	3,45± 0,14	3,46± 0,02	3,44± 0,05	3,45± 0,10
8	СКМ-673	5,91± 0,08	5,68± 0,24	4,26± 0,88	3,68± 0,11	3,59± 0,38	3,58± 0,28	3,58± 0,45	3,59± 1,2	3,59± 0,4
9	СКМ-681	5,26± 0,12	4,22± 0,11	3,43± 0,05	3,3± 0,02	3,26± 0,12	3,25± 0,12	3,26± 0,12	3,25± 0,03	3,25± 0,05
10	СКМ-683	5,84± 0,05	5,0± 0,68	3,42± 0,03	3,22± 0,11	3,15± 0,27	3,13± 0,24	3,11± 0,24	3,10± 0,27	3,12± 0,27
11	СКМ-690	5,68± 0,93	5,34± 0,91	4,09± 0,23	3,82± 0,24	3,85± 0,27	3,75± 0,27	3,77± 0,29	3,76± 0,23	3,77± 0,19
12	СКМ-694	4,84± 0,30	4,14± 0,13	3,54± 0,03	3,48± 0,02	3,47± 0,03	3,48± 0,05	3,49± 0,03	3,47± 0,05	3,49± 0,06

В ходе опыта было установлено, что через 8 ч культивирования признаки роста были отмечены у всех исследуемых штаммов. Активная кислотность культуральной жидкости варьировала в пределах $5,68 \pm 0,24 - 4,09 \pm 0,11$ ед. pH. Изменения pH наблюдались в течение четырех суток культивирования. Далее, с 5-х по 10-е сутки, происходило незначительное изменение активной кислотности. Максимальное кислотообразование находилось на уровне $3,77 \pm 0,19 - 3,12 \pm 0,27$ ед. pH, что соответствовало содержанию бактериальных клеток в культуральной жидкости в количестве не менее $1,0 \times 10^9$ КОЕ/см³.

Таким образом, из 12 исследуемых культур *L. plantarum* наилучшее кислотообразование было отмечено у 50 % штаммов молочнокис-

лых палочек (СКМ-646, СКМ-651, СКМ-656, СКМ-669, СКМ-681, СКМ-683).

При подборе лактобацилл в состав пробиотиков для сельскохозяйственных животных отдается предпочтение штаммам, которые ферментируют углеводы, присутствующие в растительном субстрате [13]. Такое свойство микроорганизмов позволяет более рационально и эффективно использовать корма при кормлении сельскохозяйственных животных. Поэтому в ходе работы было важно изучить молочнокислые палочки *L. plantarum* по способности сбраживать углеводы, встречающиеся в растительных субстратах.

Данные по ферментативной активности лактобацилл приведены в табл. 2.

Таблица 2

Ферментирование углеводов молочнокислыми палочками *L. plantarum*
Fermentation of carbohydrates with lactic acid rods *L. plantarum*

№ п/п	Индекс штамма	Ферментируемые углеводы					
		арабиноза	крахмал	манноза	раффиноза	сахароза	целлобиоза
1	СКМ-646	+	+	+	-	+	+
2	СКМ-651	-	+	+	+	+	+
3	СКМ-656	-	+	+	-	+	+
4	СКМ-667	+	-	+	-	+	+
5	СКМ-668	-	+	+	-	+	+
6	СКМ-669	+	+	+	+	+	+
7	СКМ-671	+	-	+	-	+	+
8	СКМ-673	+	-	+	+	+	+
9	СКМ-681	+	-	+	+	+	+
10	СКМ-683	-	+	+	-	+	+
11	СКМ-690	+	+	+	-	+	+
12	СКМ-694	+	-	+	-	+	+

Примечание. (+) – изменение окраски питательной среды; (-) – отсутствие изменения окраски питательной среды.

Note: (+) – change in colour of the nutrient medium; (-) – no change in the colour of the nutrient medium.

Полученные результаты показывают, что все исследуемые штаммы молочнокислых палочек обладали сравнительно высокой способностью сбраживать углеводы. Так, арабинозу сбраживали 66,7 % штаммов, крахмал – 58,3, раффинозу – 33,3, а маннозу, сахарозу и целлобиозу – 100 %. Наиболее высокая ферментативная активность отмечена у штаммов СКМ-651, СКМ-669, СКМ-673 и СКМ-681.

При изучении ферментативной активности пропионовокислых бактерий было установлено, что исследуемые штаммы сравнительно слабо сбраживали углеводы, встречающиеся в растительных субстратах, так как они относятся к классическим (молочным) видам пропионовокислых бактерий. Так, арабинозу ферментировали 33,3 % штаммов, крахмал – 6,7, маннозу – 66,7, раффинозу – 13,3 %, а сахарозу

и целлюлозу не сбраживали все изучаемые штаммы пропионовокислых бактерий. Однако стоит отметить, что сравнительно низкая ферментативная активность пропионовокислых бактерий в отношении углеводов, встречающихся в растительных субстратах, не снижает важности включения штаммов ПКБ в состав разрабатываемых пробиотиков, так как одним из самых важных их свойств является способность к активному синтезу витамина B_{12} [14, 15]. Этот витамин обладает высокой биологической активностью и выполняет ряд жизненно важных функций в организме человека и животных. Витамин B_{12} в тканях животных не образуется, а синтезируется лишь микрофлорой желудочно-кишечного тракта. Однако потреб-

ность организма в данном витамине только за счет микробного синтеза не всегда обеспечивается полностью, поэтому дополнительное его количество должно поступать в организм извне [16]. Данный факт необходимо учитывать при подборе пропионовокислых бактерий в состав разрабатываемых биопрепаратов.

При проведении исследования было изучено 15 штаммов пропионовокислых бактерий на способность продуцировать витамин B_{12} . Образование витамина B_{12} пропионовокислыми бактериями учитывали на сывороточной питательной среде с добавлением сернокислого аммония и хлористого кобальта. Результаты опыта отражены в табл. 3.

Таблица 3

Продуцирование витамина B12 пропионовокислыми бактериями
Production of vitamin B12 by propionic acid bacteria

№ п/п	Индекс штамма	Витамин B_{12} , мкг/см ³	№ п/п	Индекс штамма	Витамин B_{12} , мкг/см ³
1	АМ-1 ²	0,48	9	М ₁ ²	0,56
2	АМ-1 ¹	0,50	10	БМ-3 ²	0,50
3	11 ₁	0,60	11	БМ-2 ¹	0,51
4	149	0,58	12	АМ-3 ¹	0,45
5	ХЗ	0,57	13	АМ-3 ²	0,45
6	11 ₂	0,64	14	12 ¹	0,57
7	Б-3	0,37	15	12 ²	0,50
8	Б-2	0,53			

Все изучаемые штаммы пропионовокислых бактерий обладали способностью к синтезу витамина B_{12} , что обосновывает целесообразность включения данной группы микроорганизмов в состав пробиотических препаратов. Продуцирование витамина находилось на уровне 0,48 – 0,64 мкг/см³.

Содержание пробиотических микроорганизмов в биологически активных препаратах обуславливает их терапевтические свойства. Исходя из этого, при разработке пробиотиков важно учитывать способность микроорганизмов сохранять свою численность при хранении.

Проведенные исследования показали, что численность клеток пропионовокислых бактерий в течение 6 месяцев хранения оставалась на уровне не ниже терапевтически значимой (не менее 10⁶ КОЕ/см³) и через 180 суток составляла десятки миллионов клеток в 1 мл.

Численность всех изучаемых штаммов молочнокислых палочек на протяжении 60 суток хранения также оставались на уровне не ниже 1,0×10⁶ КОЕ/см³. При исходной в пределах от 7,21±0,20×10⁸ до 5,85±0,21×10⁸ КОЕ/см³. Количество молочнокислых палочек через 20 суток хранения составило сотни миллионов клеток в 1 мл, а с 30-х по 60-е сутки численность снизилась до десятков миллионов клеток и через 60 суток находилась на уровне 3,60±0,15×10⁷ – 1,56±0,11×10⁷ КОЕ/см³.

Комплексно анализируя данные биологических и технологически-ценных свойств молочнокислых палочек и пропионовокислых бактерий, в качестве наиболее перспективных культур для включения в состав разрабатываемого биопрепарата для сельскохозяйственных животных можно отметить 2 штамма лактоба-

цилл (СКМ-673, СКМ-681) и 3 штамма пропионовокислых бактерий (111, 112 и 149).

ВЫВОДЫ

1. Изученные штаммы молочнокислых палочек показали высокие технологически-ценные свойства, что подтверждено активным сбраживанием углеводов, встречающихся в растительных субстратах, и сохранением жизнеспособных бактериальных клеток в течение 60 суток хранения.

2. Пропионовокислые бактерии проявляли сравнительно низкую ферментативную активность в отношении углеводов, встречающихся в

растительных субстратах, но обладали высокой биологической активностью, т.е. способностью продуцировать витамин В12 в количестве от 0,48 до 0,64 мкг/см³ и сохранять численность бактериальных клеток не ниже терапевтически значимого уровня (не менее 1,0x10⁶ КОЕ/см³) в течение 180 суток.

3. Биологические и технологически-ценные свойства исследуемых пробиотических культур позволили отобрать 2 штамма лактобацилл (СКМ-673, СКМ-681) и 3 штамма пропионовокислых бактерий (111, 112 и 149) в состав разрабатываемого биопрепарата для сельскохозяйственных животных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнова Ю.М., Литонова А.С., Платонова А.В. Эффективность использования пробиотиков в кормлении дойных коров // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 9. – С. 145–151.
2. Оценка влияния пробиотика Ветом 1.1 на некоторые показатели роста и морфобиохимического состава крови телят / С.А. Шевченко, Ю.Н. Федоров, А.И. Шевченко, В.Г. Жданов, Л.И. Суртаева // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2018. – № 4 (49). – С. 156–161.
3. Перспективные направления применения пробиотиков для создания полифункциональных кормовых добавок / Р.В. Казарян, А.С. Бородихин, М.В. Лукьяненко, А.Д. Ачмиз, А.Н. Матвиенко // Новые технологии. – 2018. – № 2. – С. 116–121.
4. Walker R., Buckley M. Probiotic microbes: the scientific basis: A report from the American Academy of Microbiology. – 2006. – 22 p.
5. Гнеушева И.А., Солохина И.Ю. Биологические свойства гомопrobiотических изолятов лактобактерий – перспективных продуцентов пробиотических препаратов // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2021. – Т. 24, № 7. – С. 10–17.
6. Рожкова Е.П. Классические пропионовокислые бактерии как пробиотики: учеб. пособие. – М.: Изд-во биол. фак. МГУ, 2018. – 44 с.
7. Physiological and functional characteristics of Propionibacterium strains of the poultry microbiota and relevance for the development of probiotic products / E. Argañaraz-Martínez, J.D. Babot, M.C. Apella, A.P. Chaia // Anaerobe. – 2013. – Vol. 23. – P. 27–37.
8. ГОСТ Р 53359-2009 Молоко и продукты переработки молока. Метод определения pH. – М.: Стандартинформ, 2009. – 11 с.
9. Банникова Л.А., Королёва Н.С., Семенихина В.Ф. Микробиологические основы молочного производства. – М.: Агропромиздат, 1987. – 400 с.
10. Егорова Н.С. Практикум по микробиологии: учеб. пособие. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. – 307 с.
11. ГОСТ 10444.11-2013 (ISO 15214:1998) Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества мезофильных молочнокислых микроорганизмов. – М.: Стандартинформ, 2014. – 22 с.
12. ГОСТ Р 56139-2014 Продукты пищевые функциональные. Методы определения и подсчета пробиотических микроорганизмов. – М.: Стандартинформ, 2015. – 32 с.
13. Изучение региональных штаммов лактобацилл и введение их в состав бактериальной закваски для биоконсервирования кормов / Е.Ф. Отт, Т.Н. Орлова, И.А. Функ, Р.В. Дорофеев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 6 (188). – С. 132–137.
14. Орлова Т.Н., Отт Е.Ф. Возможность использования пропионовокислых бактерий в рационах сельскохозяйственных животных и птиц в качестве источника витамина В12 //

Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 8 (178). – С. 135–138.

15. Хаева О.Э., Икоева Л.П., Цугкиев Б.Г. Идентификация и основные биологические свойства пропионовокислых бактерий // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2019. – Т. 5 (71), № 3. – С. 148–154.
16. Piwowarek K., Lipinska E., Hacz-Szymanczuk E. Propionibacterium spp. – source of propionic acid, vitamin B12 and other metabolites important for the industry, Appl. Microbiol. Biotechnol. – 2018. – Vol. 102 (2). – P. 515–538.

REFERENCES

1. Smirnova YU.M., Litonova A.S., Platonova A.V., Vestnik KrasGAU, 2020, No. 9, pp. 145–151. (In Russ)
2. Shevchenko S.A., Fedorov YU.N., Shevchenko A.I., Zhdanov V.G., Surtaeva L.I., Vestnik NGAU, 2018, No. 4 (49), pp. 156–161. (In Russ)
3. Kazaryan R.V., Borodihin A.S., Luk'yanenko M.V., Achmiz A.D., Matvienko A.N. Novye tekhnologii, 2018, No. 2, pp. 116–121. (In Russ)
4. Walker R., Buckley M. Probiotic microbes: the scientific basis, A report from the American Academy of Microbiology, 2006. – 22 p.
5. Gneusheva I.A., Solohina I.YU., Voprosy biologicheskoy, medicinskoj i farmacevticheskoy himii, 2021, Vol. 24, No. 7, pp. 10–17. (In Russ)
6. Rozhkova E.P. Klassicheskie propionovokislye bakterii kak probiotiki (Classic propionic acid bacteria as probiotics), Moscow: Izd-vo boil. fak. MGU, 2018, 44 p.
7. Argañaraz-Martínez E., Babot J.D., Apella M.C., Chaia A.P., Physiological and functional characteristics of Propionibacterium strains of the poultry microbiota and relevance for the development of probiotic products, Anaerobe, 2013, vol. 23, pp. 27–37.
8. GOST R 53359-2009, Moloko i produkty pererabotki moloka. Metod opredeleniya rN, Moscow: Standartinform, 2009, 11 p.
9. Bannikova L.A., Korolyova N.S., Semenišina V.F., Mikrobiologicheskie osnovy molochnogo proizvodstva (Microbiological bases of dairy production), Moscow: Agropromizdat, 1987, 400 p.
10. Egorova N.S., Praktikum po mikrobiologii (Microbiology Workshop), Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 1976, 307 p.
11. GOST 10444.11-2013 (ISO 15214:1998), Mikrobiologiya pishchevyh produktov i kormov dlya zhivotnyh. Metody vyyavleniya i podscheta kolichestva mezofil'nyh molochnokislyh mikroorganizmov, Moscow: Standartinform, 2014, 22 p.
12. GOST R 56139-2014, Produkty pishchevye funktsional'nye. Metody opredeleniya i podscheta probioticheskikh mikroorganizmov, Moscow: Standartinform, 2015, 32 p.
13. Ott E.F., Orlova T.N., Funk I.A., Dorofev R.V., Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2020, No. 6 (188), pp. 132–137. (In Russ)
14. Orlova T.N., Ott E.F., Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2019, No. 8 (178), pp. 135–138. (In Russ)
15. Haeva O.E., Ikoeva L.P., Cugkiev B.G., Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya. Himiya, 2019, Vol. 5 (71), No. 3, pp. 148–154. (In Russ)
16. Piwowarek K., Lipinska E., Hacz-Szymanczuk E. Propionibacterium spp. – source of propionic acid, vitamin B12 and other metabolites important for the industry, Appl. Microbiol. Biotechnol, 2018, Vol. 102 (2), pp. 515–538

ПОКАЗАТЕЛИ РОСТА ИНДЮШАТ КРОССА БИГ-6 ПРИ СКАРМЛИВАНИИ ПРОБИОТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА

Н.С. Яковлева, кандидат ветеринарных наук

А.К. Абышева, аспирант

Г.А. Ноздрин, доктор ветеринарных наук, профессор

Л.П. Ермакова, кандидат ветеринарных наук

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: pharmgenpath@mail.ru

Ключевые слова: Ветом 1.2, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, индюшата, абсолютная масса тела, среднесуточный прирост, индейки, скорость роста, транзитные бактерии, кросс Биг-6.

Реферат. Птицеводство в последние десятилетия ассоциируется с наиболее наукоёмкой и технологически развитой отраслью животноводства. Экспериментально выявлено влияние пробиотического препарата Ветом 1.2 на интенсивность роста индюшат кросса Биг-6. Исследования проводили на клинически здоровой птице. Условия содержания и кормления соответствовали общепринятым зоогигиеническим нормам. Было сформировано 5 опытных и 1 контрольная группа по принципу пар-аналогов по 10 индюшат в каждой. Препарат применяли перорально 1 раз в сутки на протяжении 30 суток в дозах 12,5; 25; 50; 75 и 100 мг/кг живой массы. Индюшатам контрольной группы препарат не применяли. Установлено повышение абсолютной массы и среднесуточного прироста индюшат при применении препарата Ветом 1.2 в изучаемых дозах на 30-е сутки эксперимента. Наиболее выраженное массонакопление наблюдали при применении Ветома 1.2 в дозах 12,5 и 25 мг/кг живой массы на протяжении всего эксперимента. Выраженность ростостимулирующего эффекта зависит от дозы применяемого препарата.

GROWTH INDICATORS OF BIG-6 CROSS TURKEY CHICKEN WHEN FEEDING A PROBIOTIC PREPARATION

N.S. Yakovleva, PhD in Veterinary Sciences

A.K. Abyшева, PhD student

G.A. Nozdrin, Doctor of Veterinary Sciences, Professor

L.P. Ermakova, PhD in Veterinary Sciences

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: pharmgenpath@mail.ru

Keywords: Vetom 1.2, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, turkey poults, absolute body weight, average daily gain, turkeys, growth rate, transient bacteria, Big-6 cross.

Abstract. Poultry farming in recent decades has been associated with the most science-intensive and technologically advanced livestock industry. The effect of the probiotic drug vetoma 1.2 on the growth rate of turkeys of the Big-6 cross was experimentally revealed. The studies were carried out on clinically healthy poultry. The conditions of keeping and feeding corresponded to generally accepted zoohygienic norms. Five experimental and one control groups were formed according to the principle of pairs of analogues of 10 turkeys each. The drug was administered orally daily for 30 days in doses of 12.5, 25, 50, 75 and 100 mg/kg of live weight. The drug was not used for turkeys of the control group. We have established an increase in turkeys' absolute weight and average daily gain when using the drug vetoma 1.2 in all studied doses on the 30th day of the experiment. The most pronounced mass accumulation was observed when using vetoma 1.2 at doses of 12.5 and 25 mg/kg of live weight throughout the investigation. The growth-stimulating effect's severity depends on the drug dose used.

На современном этапе развития российского птицеводства особенно актуально максимальное обеспечение населения страны пищевым яйцом и мясом птицы отечественного

производства, что крайне важно для решения проблемы продовольственной безопасности страны. Потребление мяса птицы за последние несколько лет значительно возросло [1].

Пробиотические препараты – это биологически активные препараты, содержащие живые микроорганизмы, относящиеся к нормальной, физиологически и эволюционно обоснованной флоре кишечного тракта и оказывающие положительное влияние на организм животного.

Научные достижения в изучении роли некоторых микроорганизмов в поддержании здоровья животных привели к разработке и быстрому продвижению на рынок многочисленных пробиологических препаратов, предназначенных для профилактики болезней молодняка, взрослой птицы и повышения их продуктивности.

В последние десятилетия в качестве альтернативы антибиотикам успешно применяют пробиотические и пребиотические препараты. Использование пробиотических препаратов молодняку с превентивной целью стимулирует иммунный статус и устойчивость организма к действию неблагоприятных факторов внешней среды, профилактирует возникновение заболеваний и повышает продуктивность сельскохозяйственных животных. Пробиотики не представляют опасности для человека и окружающей среды. До настоящего времени большинство из них выпускают на основе лакто- и бифидобактерий, обладающих пробиотическими свойствами. В последние десятилетия стали использовать спорообразующие бактерии. В настоящее время бактерии из рода *B. subtilis* являются наиболее перспективными для разработки и производства пробиотиков. Большинство бактерий рода *Bacillus* не опасны для человека и широко распространены в окружающей среде. Пробиотические препараты серии Ветом созданы на основе *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. amyloliquefaciens* [2, 3].

В ряде исследований показано, что кишечный микробиоценоз может изменять уровень холестерина в сыворотке крови. Симбионтная микрофлора способствует повышению общей неспецифической резистентности организма хозяина, активно участвуя в обменных процессах, и поставляет ему жизненно важные пластические вещества. В наибольшей степени антагонистическая активность в отношении патогенной микрофлоры выражена у ацидофильных бактерий, бифидобактерий, молочнокислого стрептококка и др. [4].

Штаммы бактерий-антагонистов патогенной микрофлоры – *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens* и *Bacillus licheniformis* – были выделены из почвы лесных биоценозов Новосибирской области и депонированы во Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (ВКПИМ, Государственный научно-исследовательский институт генетики и

селекции промышленных микроорганизмов, г. Москва) и немецкой коллекции микроорганизмов и клеточных культур (Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH, Braunschweig, Germany) [5].

Механизм действия пробиотиков направлен не на уничтожение части популяций кишечной микрофлоры, а на заселение кишечника конкурентоспособными штаммами бактерий – пробионтов, которые осуществляют неспецифический контроль над численностью условно-патогенной микрофлоры путём вытеснения её из состава кишечного микробиоценоза [6–8].

Род *Bacillus* включает в себя 77 видов микроорганизмов и объединяет обширную группу строго аэробных или факультативно анаэробных грамположительных хемоорганотрофных микроорганизмов палочковидной формы, образующих термоустойчивые эндоспоры. Род *Bacillus* обычно связан с почвой, но его представители также выделяется из воды, пыли и воздуха и отличаются высоким и разнообразным спектром биологической активности. Они продуцируют целый ряд ферментов, лизирующих крахмал, пектины, целлюлозу, жиры, белки, производят различные аминокислоты и антибиотики. Благодаря этим свойствам бактерии рода *Bacillus* обладают высокой бактерицидной и бактериостатической активностью в отношении патогенных грамположительных (*Clostridium spp.*, *Corynebacterium spp.*, *Staphylococcus aureus*) и грамотрицательных (*Treponema pallidum*, *Neisseria meningitis*) бактерий, а также фунгицидной (фунгистатической) активностью в отношении фитопатогенных грибов – *Rhizoctonia solani*, *Botrytis cinerea*, *Aspergillus niger* [9–12].

Нормальная микрофлора – это открытый биоценоз микроорганизмов, встречающихся у здоровых людей и животных. Этот биоценоз должен быть свойствен совершенно здоровому организму; он физиологичен, т. е. способствует поддержанию здорового статуса макроорганизма, правильному отправлению его нормальных физиологических функций [10].

Нормальную микрофлору, связанную только со здоровым статусом организма, ряд авторов подразделяют на две части:

1) облигатную, постоянную часть, сложившуюся в филогенезе и онтогенезе в процессе эволюции, которую еще называют индигенной (местной), аутохтонной (коренной), резидентной;

2) факультативную, или транзиторную [13].

В состав аутомикрофлоры периодически могут включаться и случайно проникающие в макроорганизм патогенные микроорганизмы.

С организмом животного ассоциированы, как правило, десятки и сотни видов различных микроорганизмов. Они являются облигатными для организма в целом. Многие виды микроорганизмов встречаются во многих областях тела, изменяясь лишь количественно. Количественные вариации возможны у той же микрофлоры в зависимости от вида млекопитающих. Большинству же животных свойственны общие усредненные показатели для ряда областей их тела [14].

Участие симбионтных микроорганизмов в белковом обмене является одной из основных их функций. В результате сложных биохимических процессов, протекающих в желудочно-кишечном тракте хозяина, микроорганизмы, усваивая поступающие питательные вещества, размножаются, растут и быстро увеличивают свою биомассу. Отмирая, они перевариваются и усваиваются организмом, являясь источником белка [15].

Цель работы – изучить влияние пробиотического препарата Ветом 1.2 на интенсивность роста индюшат кросса Биг-6.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Научно-производственный опыт проводили на клинически здоровых индюшатах кросса Биг-6 с 30-дневного возраста.

Для исследования по принципу пар-аналогов были сформированы 5 опытных и 1 контрольная группа по 10 индюшат в каждой. Перед началом опыта индюшат выдержали на 2-недельном карантине.

Условия содержания и кормления индюшат соответствовали зоогигиеническим нормам в соответствии с европейской конвенцией о защите позвоночных (1986). Птицу содержали группами в клетках размером 3 x 3 м, в ка-

честве подстилки использовали сено луговое. Освещение естественное. При кормлении использовали комбикорма «Дельта Фидс» для сельскохозяйственной птицы фирмы «БиоПро».

Исследуемый препарат Ветом 1.2 представляет собой белый мелкодисперсный порошок без запаха, растворимый в воде с образованием осадка белого цвета. В 1 г содержит живых спорообразующих бактерий *Bacillus subtilis* штамма ВКПМ В-10641 не менее 1×10^6 КОЕ, *Bacillus amyloliquefaciens* штамма ВКПМ В-10642 и *Bacillus amyloliquefaciens* штамма ВКПМ (Всероссийская коллекция промышленных микроорганизмов) В-10643 – (не менее 2×10^6 КОЕ).

Испытуемый препарат Ветом 1.2 задавали в разных дозах в утренние часы с водой с 30-дневного возраста на протяжении 30 суток. После завершения дачи препарата наблюдение вели в период его последствия на протяжении 30 суток. Поение осуществляли из nipple-поилок. Индюшатам из 1–5-й опытных групп препарат назначали в дозах 12,5; 25; 50; 75 и 100 мг/кг живой массы соответственно. Индюшатам контрольной группы препарат не применяли. Абсолютную массу индюшат измеряли до начала опыта, на 15, 30 и 60-е сутки эксперимента. Все данные, полученные в ходе эксперимента, обработаны биометрически с использованием программы Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На начало эксперимента абсолютная масса индюшат не имела достоверных отличий. Её изменения на протяжении периода исследований показаны в табл. 1.

Таблица 1

Прирост абсолютной массы индюшат кросса Биг-6 ($M \pm m$), кг
Absolute weight gain of Big-6 cross turkey poultts ($M \pm m$), kg

Группа	До опыта	15-е сутки	30-е сутки	60-е сутки
Контрольная	475,50 ± 32,30	1,028 ± 0,098	1,528 ± 0,142	3,840 ± 0,375
1-я опытная	485,50 ± 35,08	0,985 ± 0,119	1,785 ± 0,198	3,962 ± 0,424
2-я опытная	472,50 ± 45,00	1,012 ± 0,122	1,721 ± 0,206	4,228 ± 0,562
3-я опытная	481,50 ± 26,97	0,921 ± 0,094	1,596 ± 0,157	3,464 ± 0,570
4-я опытная	473,00 ± 25,3	0,969 ± 0,049	1,632 ± 0,103	2,831 ± 0,210
5-я опытная	470,00 ± 27,48	1,097 ± 0,062	1,667 ± 0,099	3,418 ± 0,366

На 15-е сутки применения препарата абсолютная масса индюшат в 1–4-й опытных группах была ниже по отношению к контролю на 4,18; 1,51; 10,41 и 5,69 % соответственно, а у индюшат 5-й опытной группы выше на 6,72%.

При исследовании на 30-е сутки абсолютная масса тела индюшат 1–5-й опытных групп была выше, чем у аналогов из контрольной группы, на 16,82; 12,63; 4,45; 6,77 и 9,10 % соответственно (рис.1).

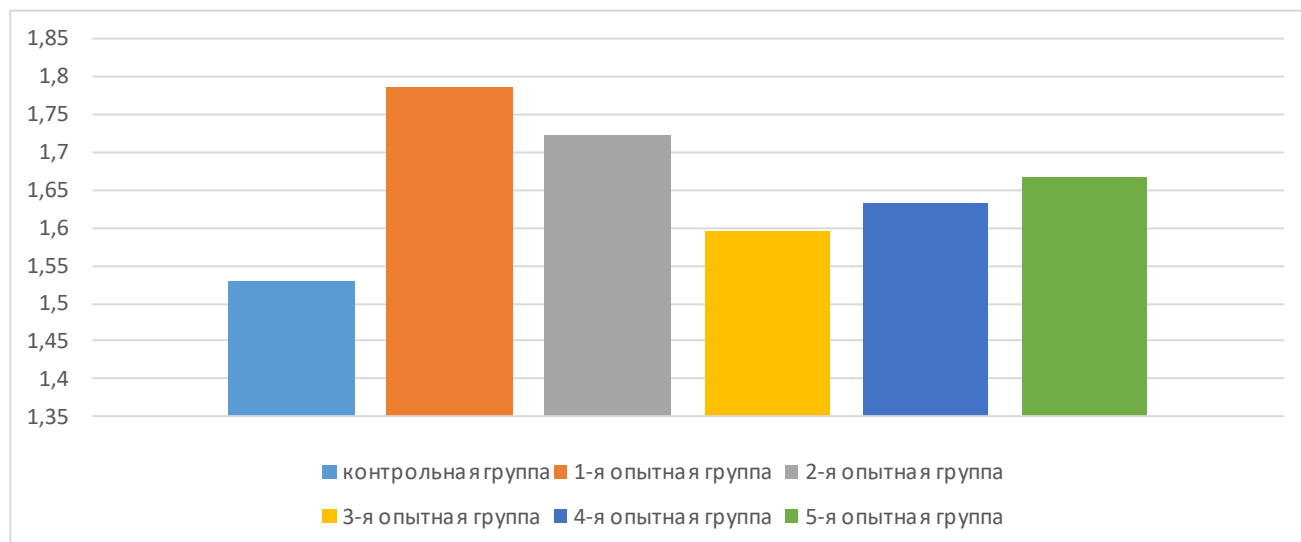


Рис. 1. Абсолютная масса индюшат кросса Биг-6 на 30-е сутки эксперимента (в 60-дневном возрасте)

The absolute weight of Big-6 cross turkey poults on the 30th day of the experiment (at 60 days of age)

Таким образом, интенсивность роста индюшат под действием препарата повышается, особенно при применении Ветома 1.2 в дозах 12,5 и 25 мг/кг живой массы.

Под действием препарата Ветом 1,2 изменялся также показатель среднесуточного прироста живой массы индюшат кросса Биг-6 (табл. 2).

На 15-е сутки опытного периода среднесуточный прирост живой массы у индюшат 1–4-й опытных групп был ниже по отношению к контролю на 9,6; 8,88; 20,47 и 9,24 % соответственно, а у индюшат 5-й опытной группы выше на 9,24%.

Таблица 2

Среднесуточный прирост массы индюшат ($M \pm m$), г
Average daily weight gain of turkey poults ($M \pm m$), g

Группа	0–15-е сутки	15–30-е сутки	30–60-е сутки	0–60-е сутки
Контрольная	36,80 ± 4,43	35,20 ± 3,26	66,03 ± 7,95	56,87 ± 5,66
1-я опытная	33,27 ± 5,74	53,37 ± 5,90	75,50 ± 6,57	57,42 ± 6,32
2-я опытная	33,53 ± 5,58	53,93 ± 5,65*	82,72 ± 9,88	62,78 ± 8,27
3-я опытная	29,27 ± 4,49	43,90 ± 4,39	62,27 ± 12,81	49,72 ± 9,02
4-я опытная	33,40 ± 2,55	43,53 ± 3,80	44,23 ± 4,33	39,57 ± 3,40
5-я опытная	40,20 ± 2,48	42,87 ± 2,79	57,13 ± 7,69	48,53 ± 5,53

Примечание. Здесь и далее: * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$.

Note. Here and below: * $P \leq 0.05$; ** $P \leq 0.01$; *** $P \leq 0.001$.

Среднесуточный прирост живой массы в период с 15-х по 30-е сутки эксперимента повышается во всех опытных группах по отношению к контрольной. На 60-е сутки эксперимента у индюшат 1–2-й опытных групп данный показатель был выше по отношению к контрольной группе на 14,34 и 25,27% по сравнению со значениями в контрольной группе, а у индюшат 3–5-й опытных групп наблюдали снижение среднесуточного прироста по отношению к контролю на 5,70; 33,01 и 13,48% соответственно.

За период с начала эксперимента по 60-е сутки среднесуточный прирост у индюшат 1–2-й опытных групп был выше по отношению к контролю на 0,97 и 10,39%, а у индюшат 3–5-й опытных групп ниже на 12,57; 30,42 и 14,65% соответственно.

Таким образом, под действием препарата Ветом 1.2 среднесуточный прирост живой массы тела индеек повышался в период применения препарата с 15-х по 30-е сутки эксперимента (рис. 2).

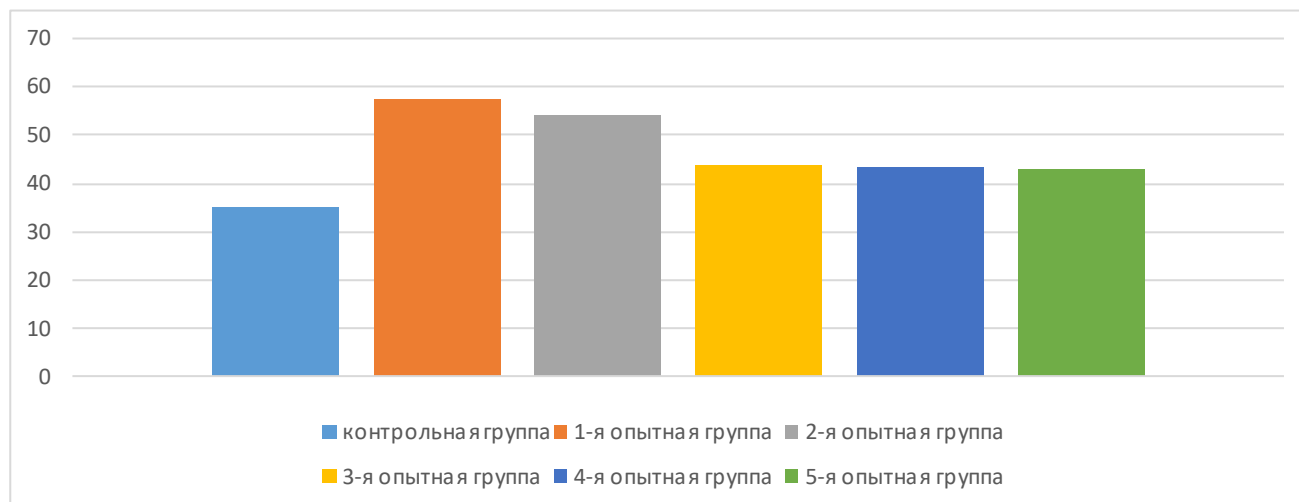


Рис. 2. Показатель среднесуточного прироста индюшат с 15-х по 30-е сутки эксперимента, г

The average daily growth rate of turkey poults from the 15th to the 30th day of the experiment, g

Изменение скорости роста по Броди у индюшат исследуемых групп показано в табл. 3. В период с начала по 15-е сутки эксперимента показатель скорости роста по Броди у индюшат

1–4-й опытных групп был ниже по отношению к контролю на 4,29; 15,82; 12,61 и 4,30% соответственно, а у индюшат 5-й опытной группы выше на 10,59 ($P<0,05$)%.

Таблица 4

Относительная скорость роста по Броди за периоды проведения опыта ($M \pm m$)
Relative growth rate according to Brodie over the periods of the experiment ($M \pm m$)

Группа	0–15-е сутки	15–30-е сутки	30–60-е сутки	0–60-е сутки
Контрольная	0,050±0,003	0,031±0,002	0,028±0,002	0,034±0,001
1-я опытная	0,048±0,003	0,037±0,002	0,026±0,002	0,036±0,000
2-я опытная	0,042±0,004	0,037±0,003*	0,029±0,002	0,034±0,001
3-я опытная	0,044±0,004	0,034±0,002	0,026±0,002	0,033±0,003
4-я опытная	0,0048±0,003	0,034±0,001	0,021±0,001**	0,030±0,001*
5-я опытная	0,055±0,001*	0,033±0,001	0,025±0,001	0,035±0,001

С 30-х по 60-е сутки эксперимента показатель скорости роста у индюшат 2-й опытной группы был выше по отношению к контролю на 3,16 %, а у индюшат 1-й и 3–5-й опытных

групп ниже на 7,77; 7,43; 24,44 ($P<0,01$) и 10,70 % соответственно.

За весь период опыта (с 0-х по 60-е сутки) скорость роста у индюшат 1-й и 5-й опытных

групп была выше по отношению к контролю на 30,52 и 10,53 %, а у индюшат 2–4-й опытных групп ниже на 0,21; 9,66 и 9,97% соответственно.

Таким образом, под действием препарата Ветом 1,2 повышалась относительная скорость роста индеек по Броди. Более выраженные показатели регистрировали на 15-е сутки эксперимента в 5-й опытной группе при применении препарата Ветом 1.2 в дозе 100 мг/кг массы тела (табл. 4).

Полученные результаты согласуются с данными других исследователей [16–18], которые также описывают ростостимулирующее действие пробиотических препаратов на организм индеек. Препараты на основе бацилл способны улучшать физиологическое состояние птицы, стимулировать ее рост и развитие.

ВЫВОДЫ

1. Препарат Ветом 1.2 в дозах 12,5; 25; 50; 75 и 100 мг/кг массы тела обладает ростостимулирующим действием при применении его индюшатам в течение 30 суток.

2. Абсолютная масса опытной птицы зависела от дозы применяемого препарата. Наиболее выраженные показатели регистрировались у индюшат 2-й опытной группы. При исследовании на 30-е сутки абсолютная масса тела индюшат 1–5-й опытных групп была выше, чем у аналогов из контрольной группы, на 16,82; 12,63; 4,45; 6,77 и 9,10 % соответственно.

3. При применении препарата Ветом 1.2 повысилась интенсивность роста индюшат в опытных группах. Максимальный среднесуточный прирост (82,72 г) регистрировали у индеек при назначении препарата Ветом 1.2 в дозе 25 мг/кг массы тела 1 раз в сутки в течение 30 дней.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гайдаенко А.А., Кибиров Х.Г., Гайдаенко О.В. Современное состояние и перспективы развития производства мяса индейки в России // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 1. – С. 289–292. – EDN: OFNEFM.
2. Zhang D., Li R., Li J. Lactobacillus reuteri ATCC 55730 and L22 display probiotic potential in vitro and protect against Salmonella-induced pullorum disease in a chick model of infection // Res. Vet. Sci. – 2012. – Vol. 93, N 1. – P. 366–373.
3. Дозодифференцированные корреляционные взаимодействия между показателями обмена гемоглобина у индеек под воздействием пробиотического препарата Ветом 1.2 / М.С. Яковлева, Н.С. Яковлева, Н.А. Готовчиков [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 1 (54). – С. 82–91.
4. Пробиотики в современном птицеводстве / И.А. Лебедева, С.В. Щепеткина, М.В. Новикова, А.И. Сканчев // БИО. – 2018. – № 1 (208). – С. 32–37.
5. Влияние Ветом 1 на интенсивность роста индеек / Г. А. Ноздрин, М. С. Яковлева, Ю. С. Лесничая [и др.] // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: сб. III Всерос. (нац.) науч. конф., Новосибирск, 20 дек. 2018 г. – Новосибирск, 2018. – С. 758–760.
6. Кулаченко И.В., Кулаченко В.П., Хмыров А.В. Морфофункциональное состояние иммунокомпетентных и детоксикационных органов цыплят-бройлеров на фоне скармливания ветома 1.1 и АКД фаворина // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2017. – № 4 (16). – С. 123–129.
7. Кислинская Л.Г., Нургалиева Р.М., Никитина С.В. Влияние биопрепаратов на морфологические показатели крови, сохранность и продуктивность цыплят-бройлеров // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 2. – С. 38–40.
8. Степанова, А.М. Влияние пробиотика из штаммов *Bacillus subtilis* на минерально-витаминный состав продукции птицеводства // Научная жизнь. – 2020. – Т. 15, № 8 (108). – С. 1128–1137.
9. Куваева И.Б., Кузнецова Г.Г. Антагонистическая активность микробных популяций защитной флоры и ее связи с характеристикой микробиоценоза и факторами питания // Вопросы питания. – 1993. – № 3. – С. 46–50.
10. Лемяк А.А., Штернишис М.В. Антагонистический потенциал сибирских штаммов *Bacillus spp.* в отношении возбудителей болезней животных и растений // Вестник Томского государственного университета. – Биология. – 2014 – № 1 (25). – С. 42–55.

11. Бала С.С. Антагонистическая активность пробиотиков на основе аэробных спорообразующих бактерий // Успехи современного естествознания. – 2004. – № 12. – С. 84.
12. Применение биологически активных веществ для увеличения скорости роста позвоночных животных / Д.В. Кропачев, И.В. Моружи, Е.А. Старцева, Г.А. Ноздрин, Е.В. Пищенко, А.Б. Иванова // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 3 (250). – С. 47–54.
13. Сизова А.В. Значение микрофлоры желудочно-кишечного тракта животных и использование бактерий-симбионтов в животноводстве. – М., 1974. – С. 46–82.
14. Пробиотики на основе бактерий рода *Bacillus* в птицеводстве / Н.В. Феоктистова, А.М. Марданова, Г.Ф. Хадиева, М.Р. Шарипова // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. – 2017. – Т. 159, кн. 1. – С. 85–107.
15. Коптев В.Ю., Ладейщикова Е.Е., Козенева В.С. Факторы патогенности и инвазивные свойства пробиотических штаммов микроорганизмов рода *Bacillus* // Международный вестник ветеринарии. – № 3. – 2018. – С. 11–16.
16. Совместное применение пробиотика и сорбента в птицеводстве / А. А. Данилова, А. Н. Ратошный, Д. В. Осепчук [и др.] // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. – 2020. – Т. 9, № 1. – С. 338–344. – DOI: 10.34617/z3xs-rb65.
17. Шевченко А.И., Шевченко С.А. Количественные и качественные показатели мясной продуктивности индеек под влиянием пробиотика Ветом 1.1, селена и их комплекса // Перспективы развития науки и образования: сб. науч. тр. по материалам XXIX Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 31 мая 2018 г. / под общ. ред. А.В. Туголукова. – М., 2018. – С. 496–499.
18. Анализ возможностей использования пробиотиков для повышения эффективности технологий выращивания индеек / С.В. Свергузова, И.Г. Шайхиев, Ж.А. Сапронова [и др.] // Экономика строительства и природопользования. – 2022. – № 4 (85). – С. 147–155.

REFERENCES

1. Gajdaenko A.A., Kibirov H.G., Gajdaenko O.V., Innovatsii i investitsii, 2020, No. 1, pp. 289–292, EDN: OFNEFM. (In Russ.)
2. Zhang D., Li R., Li J., *Lactobacillus reuteri* ATCC 55730 and L22 display probiotic potential in vitro and protect against *Salmonella*-induced pullorum disease in a chick model of infection, Res. Vet. Sci., 2012, Vol. 93, No. 1, pp. 366–373.
3. Iakovleva M.S., Iakovleva N.S., Gotovchikov N.A. [i dr.], Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet), 2020, No. 1 (54), pp. 82–91. (In Russ.)
4. Lebedeva I.A., Shchepetkina S.V., Novikova M.V., Skanchev A.I., BIO, 2018, No. 1 (208), pp. 32–37. (In Russ.)
5. Nozdrin G.A., Iakovleva M.S., Lesnichaia Iu.S. [i dr.], Rol agrarnoi nauki v ustoichivom razvitii selskikh territorii (The role of agricultural science in sustainable development of rural areas), Novosibirsk: Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2018, pp. 758–760. (In Russ.)
6. Kulachenko I.V., Kulachenko V.P., Khmyrov A.V., Innovatsii v APK: problemy i perspektivy, 2017, No. 4 (16), pp. 123–129. (In Russ.)
7. Kislinskaia L.G., Nurgalieva R.M., Nikitina S.V., Agrarnyi nauchnyi zhurnal, 2022, No. 2, pp. 38–40. (In Russ.)
8. Stepanova, A.M., Nauchnaia zhizn, 2020, T. 15, No. 8 (108), pp. 1128–1137. (In Russ.)
9. Kuvaeva I.B., Kuznetsova G.G., Voprosy pitaniia, 1993, No. 3, pp. 46–50. (In Russ.)
10. Leliak A.A., Shternshis M.V. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya, 2014, No. 1 (25), pp. 42–55. (In Russ.)
11. Bala S.S., Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia, 2004, No. 12, pp. 84. (In Russ.)
12. Kropachev D.V., Moruzi I.V., Startseva E.A. [i dr.], Sibirskii vestnik selskokhoziaistvennoi nauki, 2016, No. 3 (250), pp. 47–54. (In Russ.)
13. Sizova A.V., Znachenie mikroflory zheludочно-kishechnogo trakta zhivotnykh i ispolzovanie bakterii-simbiontov v zhivotnovodstve (The importance of the microflora of the gastrointestinal tract of animals and the use of symbiont bacteria in animal husbandry), Moscow, 1974, pp. 46–82.

14. Feoktistova N.V., Mardanov A.M., Khadieva G.F., Sharipova M.R., Probiotiki na osnove bakterij roda *Bacillus* v pticevodstve, 2017, T. 159, kn. 1, pp. 85–107. (In Russ.)
15. Koptev V.Iu., Ladeishchikova E.E., Kozeneva V.S., Mezhdunarodnyi vestnik veterinarii, 2018, No. 3, pp. 11–16. (In Russ.)
16. Danilova A.A., Ratoshny`j A.N., Osepchuk D.V. [i dr.], Sbornik nauchny`x trudov Krasnodarskogo nauchnogo centra po zootexnii i veterinarii, 2020, T. 9, No. 1, pp. 338–344, DOI: 10.34617/z3xs-rb65. (In Russ.)
17. Shevchenko A.I., Shevchenko S.A., Perspektivy` razvitiya nauki i obrazovaniya (Prospects for the development of science and education), 2018, pp. 496–499. (In Russ.)
18. Sverguzova S.V., Shajxiev I.G., Sapronova Zh.A. [i dr.], E`konomika stroitel`stva i prirodopol`zovaniya, 2022, No. 4 (85), pp. 147–155. (In Russ.).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНЫХ КАЧЕСТВ В КОЗОВОДСТВЕ: ОБЗОР

А.И. Яшкин, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

А.И. Афанасьева, доктор биологических наук, профессор

Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Россия

E-mail: yashkin@asau.ru

Ключевые слова: козы, пробиотики, пробиотическая микрофлора, молочная продуктивность, мясная продуктивность, обмен веществ, гематологические показатели, аналитический обзор.

Реферат. Проведен аналитический обзор научных публикаций по вопросу использования пробиотиков в козоводстве. Установлено, что наиболее востребованными пробиотическими микроорганизмами в козоводстве являются бактерии видов *Bacillus subtilis*, *Bifidobacterium bifidum*, *Enterococcus faecium*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum* и одноклеточные дрожжи вида *Saccharomyces cerevisiae*. Включение в рацион пробиотической микрофлоры приводит к увеличению количества бактерий рубцового содержимого коз. Снижение числа клостридий и *Escherichia coli* в фекалиях животных достигается замещением нативной фекальной микрофлоры стрептококками и молочнокислыми бактериями. Показано, что скормливание пробиотических препаратов сопровождается улучшением метаболического статуса в организме коз и выражается ростом концентрации общего белка и его фракций, гемоглобина, эритроцитов, макро- и микроэлементов в крови животных, оптимизацией липидного обмена. Пробиотики способствуют повышению сохранности ворсинок и ингибированию воспаления эпителия кишечника животных, проявляют антимуtagenные и антиканцерогенные свойства, содействуют снижению концентрации путресцина в фекалиях. Скормливание пробиотиков обеспечивает увеличение суточных удоев, содержания жира и белка в молоке за счет повышения переваримости сухих веществ рациона, прежде всего, сырой клетчатки. Пробиотический потенциал некоторых видов микроорганизмов выражается в повышении концентрации в молоке и мясе коз ненасыщенных жирных кислот при снижении индекса атерогенности сырья. Применение препаратов способствует увеличению абсолютного прироста живой массы козлят на фоне гармоничного развития телосложения молодняка благодаря выработке микробальной фитазы, снижению окислительно-восстановительного потенциала химуса и росту количества микроорганизмов-потребителей молочной кислоты. Некоторые авторы сообщают об отсутствии значимого эффекта при применении пробиотиков в кормлении лактирующих животных и при выращивании козлят.

USE OF PROBIOTIC PREPARATIONS TO INCREASE PRODUCTIVE QUALITIES IN GOATS: A REVIEW

A.I. Yashkin, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

A.I. Afanasyeva, Doctor of Biological Sciences, Professor

Altai State Agrarian University, Barnaul, Russia

E-mail: yashkin@asau.ru

Keywords: goats, probiotics, probiotic microflora, milk productivity, meat productivity, metabolism, haematological parameters, analytical review.

Abstract. An analytical review of scientific publications on probiotics in goat breeding was carried out. It has been established that the most popular probiotic microorganisms in goat farming are bacteria of the species *Bacillus subtilis*, *Bifidobacterium bifidum*, *Enterococcus faecium*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum* and single-celled yeast of the species *Saccharomyces cerevisiae*. Including probiotic microflora in the diet increases the number of bacteria in the rumen contents of goats. Reducing the number of Clostridia and *Escherichia coli* in animal faeces is achieved by replacing the native faecal microflora with streptococci and lactic acid bacteria. It has been shown that feeding probiotic preparations is accompanied by an improvement in the metabolic status in the body of goats and is expressed by an increase in the concentration of total protein and its fractions, haemoglobin, erythrocytes, macro- and microelements in the blood of animals, and optimisation of lipid metabolism. Probiotics help preserve villi and inhibit inflammation of the intestinal epithelium of animals, exhibit antimutagenic and anticarcinogenic properties, and help reduce putrescine concentration in faeces. Feeding probiotics ensures an

increase in daily milk yield, fat and protein content by increasing the digestibility of diet solids, primarily crude fibre. The probiotic potential of some microorganisms is expressed in increased concentrations of unsaturated fatty acids in goat milk and meat with a decrease in the atherogenic index of raw materials. The use of drugs helps to increase the absolute increase in live weight of goat kids against the background of the harmonious development of the physique of young animals due to the production of microbial phytase, a decrease in the redox potential of chyme and an increase in the number of microorganisms that consume lactic acid. Some authors report the absence of a significant effect when using probiotics in feeding lactating animals and raising goat kids.

Козоводство – одна из наиболее активно развивающихся отраслей животноводства в мире. К 2015 г. мировое поголовье коз превысило 1 млрд голов, прирост численности животных по отношению к 2000 г. составил 34 % [1]. В России содержится немногим менее 2 млн голов, из них около 800 тыс. молочных коз, представленных породами зааненская, альпийская, мурсиана гранадина и нубиан [2]. Благодаря развитию малых форм хозяйствования значительная часть от общего поголовья коз в стране сосредоточена в крестьянских (фермерских) хозяйствах и хозяйствах населения [3]. Повышение поголовья коз, обусловленное возросшим спросом на продукцию козоводства, в особенности на молоко, достигается внедрением в практику отрасли современных научно обоснованных подходов к организации кормления и содержания животных.

Особенности функционирования пищеварительного тракта жвачных связаны с уникальным составом микробного сообщества рубца, способного использовать лигноцеллюлозный материал кормов, производить микробный белок и обеспечивать организм необходимой энергией [4]. Запрет на применение кормовых антибиотиков в странах Евросоюза (директива 97/6 ЕС, регламенты 2788/98 и 2821/98) подтолкнул к использованию альтернативных кормовых добавок – пребиотиков, пробиотиков и фитобиотиков [5]. И если механизм действия антибиотиков основан на уничтожении популяции условно-патогенной микрофлоры кишечника, то задача пробиотиков – заселение кишечника животных конкурентоспособными штаммами бактерий-пробионтов и вытеснение патогенных микроорганизмов из состава кишечного микробиоценоза [6, 7]. Согласно определению ФАО/ВОЗ, «пробиотики» – это живые микроорганизмы, которые при введении в организм в достаточных количествах приносят пользу хозяину [8].

Качество пробиотиков определяется совокупностью следующих критериев: устойчивостью отобранных штаммов микроорганизмов к неблагоприятным факторам среды; кислотообразующей активностью; способностью продуцировать витамины, белки и жирные кислоты; антагонистической активностью по

отношению к патогенным микроорганизмам и другими факторами [9–11]. По данным профессора Новосибирского ГАУ Ноздрин Г.А., ведущего специалиста в области ветеринарной фармакологии пробиотических препаратов, влияние пробиотиков на микробиоценоз пищеварительного тракта выражается в оптимизации микробиоценоза кишечника, стимуляции иммунной системы, а также в повышении интенсивности процессов пищеварения, роста и развития животных [12].

Целью настоящей работы является аналитическое исследование доступных информационных источников по вопросу использования пробиотических препаратов в козоводстве для повышения продуктивности животных в современных условиях ведения отрасли.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При составлении обзора использованы методы контент-анализа научных текстов, синтеза и обобщения с целью систематизации имеющихся разрозненных материалов в формализованную систему сведений. Поиск проведен с использованием информационно-аналитических систем РИНЦ, ScienceDirect и ResearchGate на русском и английском языках. Предметную основу поиска составили опубликованные научные работы и препринты по тематике исследований без ограничений по дате публикации. Поиск материалов в информационных базах данных проведен с использованием следующих ключевых слов (дескрипторов) и их сочетаний: козы, пробиотики, рост и развитие, продуктивность, goats, probiotic, immune response, homeostasis, metabolic status, growth performance, body weight gain, digestibility, dry matter intake, feed conversion efficiency, intestinal microflora, milk yield, milk composition.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Физиологической основой действия пробиотиков является их прямое влияние на микро-

биом жвачных. Доступные научные данные говорят о влиянии кормовых пробиотиков на изменения микробиоценоза пищеварительного тракта разных сельскохозяйственных животных [13, 14], в том числе коз. Трехнедельное скармливание пробиотического препарата Лактоамиловорина (*Lactobacillus amylovorus*) приводит к увеличению на 21 % количества бактерий рубцового содержимого годовалых козочек, при этом инфузии рубца демонстрируют индифферентность к продуктам жизнедеятельности *L. amylovorus* [15]. Изменение баланса микрофлоры желудочно-кишечного тракта за счет снижения концентрации энтеробактерий на фоне роста численности молочнокислых и бифидобактерий достигается введением в рацион молодняка коз пробиотика, содержащего *Lactobacillus reuteri*, *Lactobacillus alimentarius*, *Bifidobacterium bifidum* и *Enterococcus faecium*. Прием пробиотика коррелировал с десятикратным снижением концентрации путресцина в фекалиях животных – маркера деятельности болезнетворных микроорганизмов при инфекционных заболеваниях животных [16]. Использование в кормлении сукозных коз пробиотического препарата Плантарум с *Lactobacillus plantarum* и *Propionibacterium freudenreichii* позволило снизить смертность козлят с 12 до 6 % вследствие нормализации микрофлоры желудочно-кишечного тракта и повышения сопротивляемости организма молодняка [17]. Ингибирующая активность *L. plantarum*, выделенного из сырого козьего молока, доказана в отношении патогенов *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Vibrio cholerae*, *Listeria ivanovii* и *Salmonella enterica* [18].

Статистически значимое снижение числа клостридий, вызывающих энтеро- и гистопатогенные инфекции, в фекалиях животных достигается с 14-го дня скармливания пробиотика на основе *L. plantarum* козам дамасской породы, при этом фекальная микрофлора замещается стрептококками и молочнокислыми бактериями [19]. Препарат Levucell (*Saccharomyces cerevisiae*) не оказывал влияния на концентрацию клостридий и энтеробактерий в фекалиях коз зааненской породы, но приводил к достоверному снижению количества *E. coli*, начиная с 30-го дня скармливания пробиотика [20]. Снижение общего количества представителей микрофлоры *Bacteroidales*, *Escherichia-Shigella* и *Christensenellaceae* в организме лактирующих коз зааненской породы ассоциируют с использованием широкого спектра пробиотических препаратов, включаю-

щих микрофлору *S. cerevisiae*, *Bacillus subtilis* и *Enterococcus faecalis* [21]. Отдельные штаммы *B. subtilis*, наряду с высокой антимикробной активностью по отношению к тест-культурам *Klebsiella pneumoniae*, *Salmonella typhimurium*, *E. coli* и *S. aureus*, отличаются интенсивным образованием внеклеточных целлюлаз, в том числе карбоксиметилцеллюлазы, авицелазы, экзоглюканазы и β -глюкозидазы [22]. Не установлено влияния пробиотической микрофлоры *E. faecium*, *Lactobacillus acidophilus* на популяцию микробиоценоза коз бурской породы [23].

Благотворное влияние на морфологию тонкого кишечника коз оказал консорциум бактерий *L. reuteri*, *L. alimentarius*, *E. faecium* и *B. bifidum*. Применение препарата козлятам (помесь зааненской и креольской пород) содействовало повышению сохранности ворсинок и ингибированию воспаления эпителия кишечника животных при отсутствии зафиксированных случаев кокцидиоза [24]. Профилактический эффект использования пробиотиков для контроля кокцидиоза у козлят подтвержден при скармливании кефира, как источника пробиотических микроорганизмов, в течение шести недель. Он выражался в снижении на 30 % числа ооцист *Eimeria* spp. по сравнению с контрольными животными [25]. При этом в относительно гигиеничных условиях ведения отрасли связи скармливания пробиотиков со снижением количества кокцидиальных ооцист в фекалиях животных не прослеживается [26].

Активность обмена веществ в организме коз при использовании в рационах пробиотических препаратов отражается изменением морфологического и биохимического статуса крови животных. Доказано позитивное влияние скармливания пробиотической добавки Бацел-М (*B. subtilis*, *E. faecium*, *Lactobacillus paracasei*) на повышение уровня кальция, фосфора и цинка (на 18; 65 и 40 % соответственно) в крови лактирующих коз [27]. Иммуномодулирующий эффект от применения пробиотика Споробактерина (*B. subtilis*) козам связан с повышением уровня γ -глобулиновых фракций белка в сыворотке крови, при этом рост концентрации общего белка в крови коз на 10 % ассоциируют с усилением усвояемости кормового белка [28].

Включение в рацион пробиотической микрофлоры *L. plantarum* и *P. freudenreichii* сопровождалось усилением обменных процессов в организме зааненских коз и выражалось ростом концентрации гемоглобина и эритроцитов на 5,5 и 15 % соответственно [29]. В других исследованиях, проведенных на животных дамасской породы, не установлено значимого

влияния препарата *L. plantarum* на концентрацию иммуноглобулинов IgA, IgM, IgG в плазме крови [19]. Применение препаратов Бацелл (*L. acidophilus*, *B. subtilis*, *Ruminococcus albus*) и Моноспорин (*B. subtilis*) козочкам зааненской породы не приводило к закономерным колебаниям гематологических показателей у подопытных животных [30]. Пробиотик Лактимет (*Lactobacillus casei*, *Lactobacillus lactis*, *Lactobacillus brevis*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Bifidobacterium adolescentis*, *L. plantarum*) усиливал гемопоэз и обменные процессы в организме коз зааненской породы, обеспечивая повышение уровня эритроцитов и гемоглобина, а также общего белка и иммуноглобулинов крови. Усиление резистентности организма коз выражалось повышением бактерицидной активности сыворотки крови и фагоцитарной активности нейтрофилов [31].

Пероральное введение культур *Aspergillus oryzae*, *L. acidophilus*, *S. cerevisiae*, *E. faecium* бурским козам оказывает системное влияние на экспрессию генов, участвующих в иммунитете и гомеостазе в крови животных. Результаты ОТ-ПЦР демонстрируют повышенную экспрессию генов врожденного и адаптивного иммунного ответа и цитокинов в ответ на пробиотики [32]. Установлено положительное влияние пробиотика на основе *S. cerevisiae* и *Clostridium butyricum* при тепловом стрессе в условиях жаркого климата на продуктивность помесных бурских коз [33].

Применение пробиотических препаратов Лактоамиловорина и Споробактерина, стимулирующих бактерицидную и лизоцимную активность сыворотки крови, рекомендовано в качестве модуляторов гуморальной защиты организма коз и для профилактики гастрозентеритов [34]. Сообщается о росте интегрального показателя клеточной неспецифической защиты – фагоцитарной емкости крови – у коз при использовании указанных препаратов [35]. Трехнедельное скормливание Лактоамиловорина в количестве 3 г на голову в сутки, повышает неспецифическую резистентность организма коз по показателям красной и белой крови [36]. Улучшение метаболического статуса молодняка зааненских коз, подвергнутого стрессу вследствие перехода на грубые корма, достигается введением в их рацион пробиотиков Probiocin (*Bacillus licheniformis*, *Streptococcus thermophilus*, *B. subtilis*, *E. faecium*) и Robiosyn (*S. cerevisiae*). Оптимизация липидного обмена животных

происходит за счет снижения в крови концентрации незатерифицированных жирных кислот (NEFA) и бета-гидроксibuтирата (BHBA)¹.

Пробиотические препараты демонстрируют антимутагенные и антиканцерогенные свойства [37]. По данным Е.М. Утс [38], скормливание пробиотика, включающего: *L. reuteri*, *L. alimentarius*, *B. bifidum*, *E. faecium* помесным козам зааненской породы снижает содержание ревертантов *S. typhimurium* TA 98 в молоке в 2,7–5,2 раза. В другом исследовании доказано, что антимутагенный потенциал пробиотической микрофлоры в отношении азидата натрия и бенз(а)пирена пропорционален концентрации указанного пробиотика в рационе животных [39].

Зависимость уровня молочной продуктивности и химического состава молока коз от введения в рацион животных пробиотических препаратов отмечается в работах многих авторов. Механизм повышения продуктивности, по имеющимся данным, строится на продуцировании пробиотической микрофлорой веществ, способствующих расщеплению, перевариванию и усвоению компонентов кормов и на иммуностимулирующем действии пробиотиков. Применение препарата Плантарум в рационе коз зааненской породы в дозе 0,8 мл/кг массы тела в сутки способствовало увеличению массовой доли жира и белка в молоке на 16 и 15 % соответственно, а также снижению общей микробной обсемененности молока животных [40]. Высокий пробиотический потенциал *L. plantarum*, выделенного из сыра касери, выражается в повышении концентрации в молоке коз дамаской породы линолевой, α -линоленовой и руменовых жирных кислот [19].

Действие пробиотика Бацел-М на организм коз проявлялось в повышении молочной продуктивности и качества молока животных. Использование препарата в дозировке 40 г увеличило удой животных на 19 %, содержание жира и белка в молоке на 10 и 15 % соответственно [27]. В опытах на зааненских козах при использовании препарата *E. faecalis* выявлено повышение массовой доли жира в молоке на 11 % по сравнению с контролем. Использование пробиотика, содержащего ассоциацию микроорганизмов *S. cerevisiae*, *B. subtilis* и *E. faecalis*, увеличило содержание белка в молоке на 7 % [21].

Для повышения удоя лактирующих коз породы зарайби предложен моновидаовой пре-

¹ Effects of probiotic and yeast extract supplementation on oxidative stress, inflammatory response, and growth in weaning Saanen kids / S. Kazemi, A. Hajimohammadi, A. Mirzaei [et al.] // Tropical animal health and production. – 2023 (preprint). DOI: 10.21203/rs.3.rs-2283514/v1.

парат клеток *S. cerevisiae* (6 г/сут в течение 5 месяцев). Увеличение продуктивности животных на 17 % авторы объясняют ростом переваримости сухих веществ рациона, прежде всего, сырой клетчатки. В рубцовой жидкости животных, получавших пробиотик, снижалось содержание аммиачного азота и росла концентрация летучих жирных кислот [41]. Близкие по характеру результаты получены в работе A.V. Stella et al ([20], где использование пробиотика Levucell содействовало повышению удоя коз зааненской породы на 14 %. Пробиотический препарат рекомбинантных штаммов *Lactobacillus* sp. 8 PA3 (pLF-SL2), экспрессирующих соматолиберин, обеспечивал повышение суточных удоев коз на 26 % и содержания белка в молоке на 11 % при снижении затрат сухих веществ корма на синтез молока [42, 43].

Снижение коэффициента атерогенности козьего молока обусловлено способностью бактерий родов *Bifidobacterium*, *Lactobacillus* и *Lactococcus* продуцировать конъюгированную линолевую кислоту [44]. Повышение в молоке концентрации линолевой (в 1,9 раза) и линоленовой кислот (в 2,9 раза) при снижении индекса атерогенности с 3,3 до 1,8 рассматривают как результат скормливания зааненским козам пробиотика, содержащего *L. reuteri*, *L. alimentarius*, *E. faecium* и *B. bifidum*, в течение 55 дней [24].

Некоторые источники сообщают об отсутствии статистически значимого эффекта от применения пробиотиков в кормлении лактирующих коз. В исследованиях, проведенных на козах породы барбари, с использованием пробиотика на основе дрожжей вида *S. cerevisiae*, не установлено превосходства опытных животных над контрольными по уровню потребления протеина и сухих веществ корма [45]. Не обнаружено также значимого влияния пробиотиков, включающих *Pediococcus acidilactici*, *L. plantarum* и *S. cerevisiae*, и их смеси на удой и содержание белка в молоке помесных коз англо-нубийской и зааненской пород [46]. Использование пробиотиков *S. cerevisiae*, *E. faecalis* и *B. subtilis* отдельно и в комплексе не повлияло на уровень потребления животными сухого вещества корма и на удой у коз зааненской породы [21].

Применение пробиотических препаратов, по данным отечественных и зарубежных исследований, обеспечивает высокую эффективность роста и развития молодняка коз, главным образом, за счет активизации процессов пищеварения и усиления иммунного ответа организма козлят. Пробиотики улучшают усвояемость богатого клетчаткой рациона молодняком коз

и увеличивают конверсию кормов. На козах породы этава, получавших препарат Probion (5 г/на голову в сутки в течение 4 месяцев), показана возможность повышения среднесуточных приростов массы животных до 71 г/сут (171 % к уровню контроля) [7]. По некоторым данным, переваримость клетчатки и сухих веществ кормов у молодняка, получавшего пробиотика, тесно коррелирует с уровнем pH содержимого рубца [33].

Препарат Плантарум в дозировке 0,8 г/кг массы тела обладает ростостимулирующим действием и способствует увеличению абсолютного прироста живой массы зааненских козлят на 65 % в период с рождения до 6-месячного возраста [47]. Похожий результат получен при использовании в кормлении козлят породы джамнапари в течение 30 дней препарата Biobloom (5 г/на голову в сутки), содержащего микрофлору *Lactobacillus sporogenes* и *S. cerevisiae*. Увеличение на 41 % абсолютного прироста массы тела козлят, получавших пробиотик, авторы исследования объясняют лучшим усвоением компонентов кормосмеси за счет выработки микробиальной фитазы [48].

Использование бифидобактерий в составе биодобавки с лактулозой (Бикодо, 3 г/кг живой массы в течение 56 дней) позволяет профилактировать желудочно-кишечные заболевания у козовалушков и способствует росту молодняка. Повышение живой массы на 6 % и динамики среднесуточного прироста живой массы козлят на 24 % сопровождалось ростом переваримости компонентов сухого вещества рациона [49]. Длительное скормливание пробиотиков (6 месяцев) проявлялось схожими результатами. Стимулирующее влияние препарата Бацелл (40 г/сут.) выражалось в повышении на 15 % среднесуточных приростов живой массы и гармоничном развитии телосложения молодняка зааненской породы [30].

Рост потребления сухих веществ рациона молодняком коз бурской породы связывают с использованием в кормлении животных микроскопических грибов *S. cerevisiae*, приводящих к снижению окислительно-восстановительного потенциала химуса и росту количества микроорганизмов – потребителей молочной кислоты [33]. Микроскопические грибы данного вида содействуют увеличению плотности популяции целлюлозолитических инфузорий рода *Diplodinium* и повышению активности ферментов карбоксиметилцеллюлазы и ксиланазы в рубце коз [50]. Приводятся также данные о повышении концентрации производных пурина (аллантиина и ксантина) в моче козлят альпийской породы в ответ на скормливание

пробиотика на основе *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus delbrueckii*, *L. plantarum*, *L. lactis* и *L. mesenteroides* (50 мг/кг живой массы в течение 2 месяцев) [51].

Аргентинскими учеными изучена эффективность применения пробиотической микрофлоры *L. reuteri*, *L. alimentarius*, *E. faecium* и *B. bifidum*, выделенной из фекалий клинически здоровых коз. Действие пробиотика на организм молодняка креольской породы выражалось в повышении концентрации моно- и полиненасыщенных жирных кислот в мясе (*longissimus dorsi* и *biceps femoris*) и закономерном снижении показателей атерогенности (0,30) и тромбогенности (0,75) [52]. В другом исследовании данный пробиотик при использовании в течение 8 недель обеспечивал увеличение абсолютного прироста живой массы молодняка на 9 % [16].

Научному обоснованию применения пробиотиков аборигенным козам посвящен ряд исследований индийских ученых. Высокую результативность на козлятах породы малабари демонстрирует полибактериальный пробиотик, включающий представителей видов *Saccharomyces boulardii*, *S. cerevisiae*, *L. acidophilus* и *P. freudenreichii*. Использование препарата в течение 4 месяцев повысило абсолютный прирост живой массы молодняка на 8 % в сравнении с препаратом, содержащим только дрожжи *S. cerevisiae* [53].

В других исследованиях [54] сообщается о повышении эффективности выращивания козлят породы османабади при использовании пробиотика на основе *L. acidophilus* и *S. cerevisiae*. Наибольший прирост живой массы (88 г/сут) на фоне снижения затрат концентрированных кормов на 1 кг прироста массы фиксировали как результат совместного использования дрожжей и лактобацилл. Трехмесячные козлята той же породы выступили объектом исследований S.A. Kochewad с соавт. Животные, получавшие пробиотик Protexin, опережали сверстников по приросту живой массы на 5 % начиная с третьей недели скормливания добавки. С этого же периода опытные козлята превосходили контрольных сверстников по высоте в холке, длине туловища и по обхвату груди [55].

В ряде публикаций не показано статистически значимого эффекта от использования пробиотиков при выращивании молодняка коз. Применение препарата Fastrack на основе *E. faecium*, *L. acidophilus* молодняка коз бурской

породы не повлияло на показатели мясной продуктивности и качества козлятины. Опытные животные не имели превосходства над контрольными по убойной массе, длине туш и площади мышечного глазка [23]. В исследованиях, проведенных в Иордане на козлятах породы шами в течение 3 месяцев, не установлено значимого влияния пробиотика *S. cerevisiae* на скорость роста, потребление животными питательных веществ рациона и морфологический состав туш [56].

Турецкие авторы сообщают об отсутствии значимого влияния скормливания кефира (*Lactococcus spp.*, *Lactobacillus spp.*, *S. cerevisiae*) и пробиотика BiyoteksinTM L (*Candida pintolopesii*, *Streptococcus salivarius*, *Lactobacillus rhamnosus*, *L. plantarum*, *L. delbrueckii*, *L. acidophilus*, *B. bifidum*, *A. oryzae*) на величину абсолютного прироста живой массы и уровень потребления концентрированных кормов козлятами зааненской породы [57]. Испытание пробиотика BiyoteksinTM L на шестинедельных козлятах той же породы за две недели до и в течение четырех недель после отбивки от матерей также не оказало достоверного влияния на скорость роста и частоту диареи у животных [58]. Данные об отсутствии значимого воздействия пробиотиков Biotech и Robiosyn на интенсивность роста молодняка зааненской породы приводятся в препринте иранских ученых¹.

Подводя итог, следует отметить существенный рост числа проведенных исследований за последние два десятилетия. Обобщенные данные свидетельствуют о значительном интересе ученых к использованию в козоводстве пробиотиков, прежде всего, объединяющих бактерии видов *B. subtilis*, *B. bifidum*, *E. faecium*, *L. acidophilus* и *L. plantarum*, и одноклеточных дрожжей вида *S. cerevisiae*. Значительно расширился географический охват исследовательской работы в данной области, в 2010-е гг. по отношению к предыдущему десятилетию практически в 2 раза возросло число публикаций как из регионов развитого козоводства (Индия и Китай), так и от авторов из Турции, Аргентины, Египта, России и ряда других стран мира. Краткие сведения по основным научным работам с указанием видов пробиотических микроорганизмов, наименований используемых препаратов и пород животных, участвовавших в экспериментальных исследованиях, представлены в таблице.

¹Effects of probiotic and yeast extract supplementation on oxidative stress, inflammatory response, and growth in weaning Saanen kids / S. Kazemi, A. Hajimohammadi, A. Mirzaei [et al.] // Tropical animal health and production. – 2023 (preprint). DOI: 10.21203/rs.3.rs-2283514/v1.

Микроорганизмы, используемые в моно- и поликомпонентных пробиотиках для коз
Microorganisms used in mono- and polycponent probiotics for goats

Вид	Название пробиотика	Порода коз *	Ссылки на работы
<i>A. oryzae</i>	BiyoteksinTM L, Fastrack	ЗА, БР	[32, 57, 58]
<i>B. subtilis</i> , <i>B. licheniformis</i>	Probiocin, Споробактерин, Бацелл, Моноспорин, Бацелл-М	ЗА	[21, 24, 27, 28, 30, 34, 35]
<i>B. bifidum</i>	BiyoteksinTM L, Бикодо	ЗА, КР	[16, 24, 38, 49, 52, 57, 58]
<i>B. adolescentis</i>	Лактимет	ЗА	[31]
<i>C. pintoopesii</i>	BiyoteksinTM L	ЗА	[57, 58]
<i>C. butyricum</i>	-	БР	[33]
<i>E. faecium</i>	Fastrack, Probiocin, Бацелл-М	БР, ЗА, КР	[16, 22–24, 27, 32, 38, 52]
<i>L. acidophilus</i>	BiyoteksinTM L, Fastrack, Бацелл	ЗА, БР, ОС, МА	[23, 30, 32, 53, 54, 57, 58]
<i>L. alimentarius</i>	-	ЗА, КР	[16, 24, 38, 52]
<i>L. amylovorus</i>	Лактоамиловорин	Нет данных	[15, 34–36]
<i>L. brevis</i> , <i>L. casei</i> , <i>L. lactis</i>	Лактимет	ЗА	[31]
<i>L. delbrueckii</i> , <i>L. rhamnosus</i>	BiyoteksinTM L	ЗА, АЛ	[51, 57, 58]
<i>L. paracasei</i>	Бацелл-М	Нет данных	[27]
<i>L. plantarum</i>	BiyoteksinTM L, Плантарум, Лактимет	ЗА, АЛ, ДМ	[17, 19, 31, 40, 47, 51, 57, 58]
<i>L. reuteri</i>	-	ЗА, КР	[16, 24, 37, 52]
<i>L. sporogenes</i>	Biobloom	ДЖ	[48]
<i>L. mesenteroides</i>	Лактимет	ЗА	[31]
<i>P. freudenreichii</i>	Плантарум	МА, ЗА	[17, 40, 47, 53]
<i>R. albus</i>	Бацелл	ЗА	[30]
<i>S. cerevisiae</i> , <i>S. boulardii</i>	Fastrack, Robiosyn, Biobloom, Levucell	БР, ОС, ЗА, БА, ДЖ, МА, ЗР, ША	[20, 21, 24, 32, 33, 41, 45, 48, 50, 53, 54, 56]
<i>S. salivarius</i> , <i>S. faecium</i>	BiyoteksinTM L	ЗА	[57, 58]
<i>S. thermophilus</i>	Probiocin	ЗА	[24]

Примечание. АЛ – альпийская; БА – барбари; БР – бурская; ДЖ – джамнапари; ЗА – зааненская; ЗР – зарайби; КР – креольская; МА – малабари; ОС – османабади; ШМ – шами.

ВЫВОДЫ

1. Изучение свойств пробиотических препаратов, их экспериментальная и производственная апробация открывают возможности для более широкого внедрения пробиотиков в практику разведения коз различных пород.

В условиях интенсивной технологии ведения козоводства применение пробиотиков оказывает позитивное влияние на изменение баланса рубцовой микрофлоры коз, улучшает метаболический статус, рост и развитие молодняка, а также содействует раскрытию генетического потенциала всех видов продуктивности, сти-

мулирует неспецифическую резистентность организма животных, улучшает переваримость и усвояемость компонентов корма.

2. Противоречивость данных по влиянию пробиотиков на рост, развитие и некоторые

продуктивные показатели животных требует дальнейшего научного поиска, проведения лабораторных и производственных испытаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Miller B., Lu C. Current status of global dairy goat production: an overview // Asian-Australasian journal of animal sciences. – 2019. – Vol. 32 (8). – P. 1219–1232. – DOI: 10.5713/ajas.19.0253.
2. Состояние и прогноз развития молочного козоводства в Российской Федерации / С.И. Новопашина, М.Ю. Санников, С.А. Хататаев [и др.] // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2020. – № 1. – С. 13–15.
3. Гайнутдинов И.Г., Мухаметгалиев Ф.Н., Авхадиев Ф.Н. Состояние и особенности развития животноводческих отраслей в России и за рубежом // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16, № 2 (62). – С. 86–95. – DOI: 10.12737/2073-0462-2021-86-95.
4. Digestive tract microbiota of beef cattle that differed in feed efficiency / H.C. Freetly, A. Dickey, A.K. Lindholm-Perry [et al.] // Journal of animal science. – 2019. – Vol. 98 (2). – P. 1–16. – DOI: 10.1093/jas/skaa008.
5. Evaluation of the in-field efficacy of oregano essential oil administration on the control of neonatal diarrhea syndrome in calves / P.D. Katsoulos, M.A. Karatzia, C.I. Dovas [et al.] // Research in veterinary science. – 2017. – Vol. 115. – P. 478–483. – DOI: 10.1016/j.rvsc.2017.07.029.
6. Использование пробиотиков и растительных экстрактов для улучшения продуктивности жвачных животных (обзор) / Г.К. Дускаев, Г.И. Левахин, В.Л. Королёв [и др.] // Животноводство и кормопроизводство. – 2019. – № 102 (1). – С. 136–148. – DOI: 10.33284/2658-3135-102-1-136.
7. Dinata A.A., Sudarma I.W., Puspa D.M. Performance of Etawah crossbred goat fed different types of probiotics // Proceedings of International seminar on livestock production and veterinary technology, 2016. – P. 300–306. – DOI: 10.14334/Proc.Intsem.LPVT-2016-pp.300-306.
8. Bajagai Y.S., Klieve A.V., Dart P.J. Probiotics in animal nutrition: production, impact and regulation // FAO animal production and health paper / Makkar H., editor. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nation, 2016. – Vol. 179. – P. 5.
9. Функ И.А., Омм Е.Ф., Владимиров Н.И. Подбор микроорганизмов в состав пробиотиков для коз // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3 (173). – С. 110–114.
10. Аспекты создания консорциума микроорганизмов, обладающего особенностями пробиотика, для коррекции дисбиотических нарушений // Л.В. Римарева, Г.С. Волкова, Е.В. Куксова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2017. – № 1. – С. 39–44.
11. Role of probiotics in nutrition and health of small ruminants / M.M. Abd El-Tawab, I.M. Youssef, H.A. Bakr [et al.] // Polish journal of veterinary sciences. – 2016. – Vol. 19, N 4. – P. 893–906. – DOI: 10.1515/pjvs-2016-0114.
12. Применение жидкой формы Ветомат телятам в ранний постнатальный период жизни / А.Г. Ноздрин, Г.А. Ноздрин, О.В. Лагода [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2017. – № 4 (45). – С. 103–108.
13. Lema M., Williams L., Rao D.R. Reduction of fecal shedding of enterohemorrhagic Escherichia coli O157:H7 in lambs by feeding microbial feed supplement // Small ruminant research. – 2001. – Vol. 39 (1). – P. 31–39. – DOI: 10.1016/S0921-4488(00)00168-1.
14. Reduction of Escherichia coli O157 and Salmonella in feces and on hides of feedlot cattle using various doses of a direct-fed microbial / T.P. Stephens, G.H. Longergan, E. Karunasena [et al.] // Journal of food protection. – 2007. – Vol. 70 (10). – P. 2386–2391. – DOI: 10.4315/0362-028X-70.10.2386.

15. Гаврилова Е.А. Влияние лактоамиловорина на количество микроорганизмов и инфузорий в содержимом рубца коз // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2008. – № 1 (17). – С. 181–182.
16. Probiotic administration effect on fecal mutagenicity and microflora in the goat's gut / A.L. Apas, J. Dupraz, R. Ross [et al.] // Journal of bioscience and bioengineering. – 2010. – Vol. 110 (5). – P. 537–540. – DOI: 10.1016/j.jbiosc.2010.06.005.
17. Dairy goat's productivity using the probiotic preparation Plantarum in the diet / I.A. Funk, N.I. Vladimirov, A.P. Kravchenko [et al.] // IOP Conf. series: Earth and environmental science. – 2021. – Vol. 723. – P. 022012. – DOI: 10.1088/1755-1315/723/2/022012.
18. Mami A., Kerfouf A., Kihal M. Study of the antimicrobial and probiotic effect of *Lactobacillus plantarum* (P6) isolated from raw goat's milk from the region of Western Algeria // World applied sciences journal. – 2014. – Vol. 32 (7). – P. 1304–1310. – DOI: 10.5829/idosi.wasj.2014.32.07.1993.
19. Feed supplementation of *Lactobacillus plantarum* PCA 236 modulates gut microbiota and milk fatty acid composition in dairy goats – A preliminary study / P.A. Maragkoudakis, K.C. Mountzouris, C. Rosu [et al.] // International journal of food microbiology. – 2010. – Vol. 141. – P. 109–116. – DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.03.007.
20. Effect of administration of live *Saccharomyces cerevisiae* on milk production, milk composition, blood metabolites, and faecal flora in early lactating dairy goats / A.V. Stella, R. Paratte, L. Valnegri [et al.] // Small ruminant research. – 2007. – Vol. 67. – P. 7–13. – DOI: 10.1016/j.smallrumres.2005.08.024.
21. Positive effects of dietary supplementation of three probiotics on milk yield, milk composition and intestinal flora in Sannan dairy goats varied in kind of probiotics / Z.-Z. Ma, Y.-Y. Cheng, S.-Q. Wang [et al.] // Journal of animal physiology and animal nutrition. – 2020. – Vol. 104. – P. 44–55. – DOI: 10.1111/jpn.13226.
22. Бактерии – антагонисты возбудителей кишечных инфекций и продуценты комплекса целлюлаз как основа для создания добавок, объединяющих функции пробиотика и кормового фермента / Л.Р. Валиуллин, Риш. С. Мухаммадиев, Рин. С. Мухаммадиев [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – № 9 (35). – С. 60–66. – DOI: 10.53859/02352451_2021_35_9_60.
23. Use of a commercial probiotic supplement in meat goats / N.C Whitley, D. Cazac, B.J. Rude [et al.] // Journal of animal science. – 2009. – Vol. 87 (2). – P. 723–728. – DOI: 10.2527/jas.2008-1031.
24. Probiotic administration modifies the milk fatty acid profile, intestinal morphology, and intestinal fatty acid profile of goats / A.L. Apas, M.E. Arena, S. Colombo [et al.] // Journal of dairy science. – 2013. – Vol. 98 (1). – P. 47–54. – DOI: 10.3168/jds.2013-7805.
25. Can kefir reduce coccidial oocysts output in goat kids? / G. Daş, C. Ataşoğlu, H.I. Ülkü [et al.] // Proceedings of 58th annual meeting of the EAAPP. – Dublin, 2007.
26. Effects of kefir on coccidial oocysts excretion and performance of dairy goat kids following weaning / G. Daş, C. Ataşoğlu, H.I. Akbağ [et al.] // Tropical animal health and production. – 2012. – Vol. 44 (5). – P. 1049–1055. – DOI: 10.1007/s11250-011-0039-3.
27. Пушкарев М.Г. Влияние пробиотиков на лактационную деятельность коз // Современные способы повышения продуктивных качеств сельскохозяйственных животных, птиц и рыб: Материалы нац. науч.-практ. конф. – Саратов, 2020. – С. 117–120.
28. Гаврилова Е.А. Изменение белкового состава крови коз на фоне применения споробактерина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2009. – № 1 (21). – С. 221–223.
29. Функ И.А. Эффективность использования пробиотического препарата Плантарум в кормлении сукозных коз // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 3 (64). – С. 134–141. – DOI:10.31677/2072-6724-2022-64-3-134-141.
30. Продуктивные и морфобиологические показатели молочных коз при скармливании пробиотиков / С.И. Новопашина, М.Ю. Санников, В.С. Идея [и др.] // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2018. – № 2. – С. 34–36.

31. Мохммад С.С. Влияние пробиотика «Лактимет» на морфологические и биохимические показатели крови лактирующих коз // Ветеринарна медицина. – 2014. – № 99. – С. 126–129.
32. *Evaluation of the effect of probiotic administration on gene expression in goat blood* / K. Ekwe-malor, E. Asiamah, B. Osei [et al.] // Journal of molecular biology research. – 2017. – Vol. 7 (1). – P. 88–98. – DOI: 10.5539/jmbr.v7n1p88.
33. *Dietary supplementation with Saccharomyces cerevisiae, Clostridium butyricum and their combination ameliorate rumen fermentation and growth performance of heat-stressed goats* / L. Cai, J. Yu, R. Hartanto [et al.] // Animals. – 2021. – Vol. 11 (7). – P. 2116. – DOI: 10.3390/ani11072116.
34. Гаврилова Е.А., Мешков В.М. Влияние лактоамиловорина и споробактерина на гуморальные факторы неспецифической защиты организма коз // Сб. науч. тр. Ставропол. НИИ животноводства и кормопроизводства. – Ставрополь, 2009. – № 1 (1-1). – С. 131–133.
35. Гаврилова Е.А., Каменева И.Н. Клеточные факторы неспецифической защиты коз на фоне применения пробиотиков // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. – 2014. – № 5. – С. 214–217.
36. Гаврилова Е.А. К вопросу о клинико-гематологическом статусе организма коз, получающих лактоамиловорин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2007. – №4 (16). – С. 99–100.
37. *Serban D.E. Gastrointestinal cancers: influence of gut microbiota, probiotics and prebiotics* // Cancer letters. – 2014. – Vol. 345. – P. 258–270. – DOI: 10.1016/j.canlet.2013.08.013.
38. *Goat milk mutagenesis is influenced by probiotic administration* / E.M. Utz, A.L. Apás, M.A. Díaz [et al.] // Small ruminant research. – 2018. – Vol. 161. – P. 24–27. – DOI: 10.1016/j.smallrumres.2018.02.009.
39. *Apas A.L., Gonzalez S.N., Arena M.E. Potential of goat probiotic to bind mutagens* // Anaerobe. – 2014. – Vol. 28. – P. 8–12. – DOI: 10.1016/j.anaerobe.2014.04.004.
40. Функ И.А., Владимиров Н.И. Влияние разных доз пробиотического препарата на молочную продуктивность коз в типе зааненской породы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 7 (189). – С. 83–87.
41. *Abd El-Ghani A.A. Influence of diet supplementation with yeast culture (Saccharomyces cerevisiae) on performance of Zaraibi goats* // Small ruminant research. – 2004. – Vol. 52 (3). – P. 223–229. – DOI: 10.1016/j.smallrumres.2003.06.002.
42. Макара З.Н. Влияние пробиотического препарата рекомбинантных лактобацилл с геном соматолиберина на молочную продуктивность у коз и коров // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2013. – № 1. – С. 30–38.
43. *Makar Z.N., Kharitonov E.L., Cherepanov G.G. Lactogenic effects of probiotic preparation on the base of recombinant lactobacilli with growth hormone releasing factor gene in ruminants* // Journal of agriculture and environment. – 2019. – Vol. 4 (12). – P. 1–7. – DOI: 10.23649/jae.2019.4.12.18.
44. *Quantitative and qualitative determination of CLA produced by Bifidobacterium and LAB by combining spectrophotometric and Ag+-HPLC techniques* / L.M. Rodríguez-Alcala, T. Braga, F.X. Malcata [et al.] // Food chemistry. – 2011. – Vol. 125. – P. 1373–1378. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.10.008.
45. *Kumar M., Dutta T.K., Chaturvedi I. Effect of probiotics supplementation on live weight in lactating Barbari goats* // Journal of biological sciences and medicine. – 2016. – Vol. 2 (3). – P. 24–30.
46. *Effect of probiotic feeding on milk yield and components of crossbred dairy goats* / C. Salvedia, E. Supangco, R. Vega [et al.] // Philippine journal of veterinary and animal sciences. – 2015. – Vol. 41 (1). – P. 21–30.
47. Кравченко А.П., Владимиров Н.И. Оценка роста молодняка коз молочного направления при введении в рацион пробиотика «Плантарум» // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 5 (199). – С. 79–83.
48. *Mamta, Sharma P. Effect of probiotics on bodyweight gain and feed conversion ratio in goat kids* // Naryana veterinarian. – 2008. – Vol. 47. – P. 39–40.
49. Абилов Б.Т., Синельщикова И.А. Результаты использования Бикодо в кормлении козовалушков // Сб. науч. тр. Ставропол. НИИ животноводства и кормопроизводства. – 2007. – Т. 2, № 2-2. – С. 114–115.

50. *The effect of live yeast, Saccharomyces cerevisiae, and their metabolites on ciliate fauna, fibrolytic and amylolytic activity, carbohydrate digestion and fermentation in the rumen of goats* / B. Kowalik, T. Michałowski, J.J. Pająk [et al.] // Journal of animal and feed sciences. – 2011. – Vol. 20. – P. 526–536. – DOI: 10.22358/jafs/66206/2011.
51. *Goat kid's growth improvement with a lactic probiotic fed on a standard base diet* / M.A. Galina, M.A. Ortiz-Rubio, M. Delgado-Pertíñez [et al.] // Nutritional and foraging ecology of sheep and goats / T.G. Papachristou, Z.M. Parissi, H. Ben Salem, P. Morand-Fehr, editors. – Zaragoza: CIHEAM / FAO / NAGREF, 2009. – P. 315–322.
52. *Administration of selected probiotic mixture improves body weight gain and meat fatty acid composition of Creole goats* / N. Taboada, M.F. Salom, A. Córdoba [et al.] // Food bioscience. – 2022. – Vol. 49. – P. 101836. – DOI: 10.1016/j.fbio.2022.101836.
53. *Sivadasan K.S., Subramannian S. Comparison of growth performance of goat kids under supplementation with different probiotics* // Journal of animal research. – 2020. – Vol. 10 (6). – pp. 1063–1065. – DOI: 10.30954/2277-940X.06.2020.28.
54. *Effect of feeding probiotics on the growth performance and feed conversion efficiency in goat* / A.S. Jinturkar, B.V. Gujar, D.S. Chauhan [et al.] // Indian journal of animal research. – 2009. – Vol. 43 (1). – P. 49–52.
55. *Effect of probiotic supplementation on growth parameters of Osmanabadi kids* / S.A. Kochewad, J.M. Chahande, A.B. Kanduri [et al.] // Veterinary world. – 2009. – Vol. 2 (1). – P. 29–30.
56. *Titi H.H., Dmour R.O., Abdullah A.Y. Growth performance and carcass characteristics of Awassi lambs and Shami goat kids fed yeast culture in their finishing diet* // Animal feed science and technology. – 2008. – Vol. 142. – P. 33–43. – DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2007.06.034.
57. *Effects of kefir as a probiotic source on the performance of goat kids* / C. Ataşoğlu, H.I. Akbağ, C. Tölü [et al.] // South African journal of animal science. – 2010. – Vol. 40 (4). – P. 363–370.
58. *Effect of probiotic supplementation shortly before and after weaning on growth of Turkish Saanen kids* / K. Ayışığı, C. Ataşoğlu, I. Yaman Yurtman [et al.] // Archives animal breeding. – 2005. – Vol. 48 (6). – P. 601–611.

REFERENCES

1. Miller B., Lu C. Current status of global dairy goat production: an overview, Asian-Australasian journal of animal sciences, 2019, Vol. 32, No. 8, pp. 1219–1232, DOI: 10.5713/ajas.19.0253.
2. Novopashina S.I., Sannikov M.Yu., Khatataev S.A., Grigoryan L.N., Kizilova E.I., Ovtsy, kozy, sherstyanoje delo, 2020, No. 1, pp. 13–15. (In Russ.).
3. Gainutdinov I.G., Mukhametgaliev F.N., Avkhadiyev F.N., Vestnik of Kazan state agrarian university, 2021, Vol. 16, No. 2 (62), pp. 86–95, DOI 10.12737/2073-0462-2021-86-95. (In Russ.).
4. Digestive tract microbiota of beef cattle that differed in feed efficiency / H.C. Freetly, A. Dickey, A.K. Lindholm-Perry [et al.], Journal of animal science, 2019, Vol. 98, No. 2, pp. 1–16. – DOI: 10.1093/jas/skaa008.
5. Evaluation of the in-field efficacy of oregano essential oil administration on the control of neonatal diarrhea syndrome in calves / P.D. Katsoulos, M.A. Karatzia, C.I. Dovas [et al.], Research in veterinary science, 2017, Vol. 115, pp. 478–483, DOI: 10.1016/j.rvsc.2017.07.029.
6. Duskaev G.K., Levakhin G.I., Korolev V.L., Sirazetdinov F.Kh., Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo, 2019, No. 102 (1), pp. 136–148, DOI: 10.33284/2658-3135-102-1-136. (In Russ.).
7. Dinata A.A., Sudarma I.W., Puspa D.M., Performance of Etawah crossbred goat fed different types of probiotics, Proceedings of International seminar on livestock production and veterinary technology, 2016, pp. 300–306, DOI: 10.14334/Proc.Intsem.LPVT-2016-pp.300-306.
8. Bajagai Y.S., Klieve A.V., Dart P.J., Probiotics in animal nutrition: production, impact and regulation, FAO animal production and health paper, H. Makkar, editor, Rome: Food and agriculture organization of the United Nation, 2016, Vol. 179, pp. 5.
9. Funk I.A., Ott E.F., Vladimirov N.I., Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2019, No. 3 (173), pp. 110–114. (In Russ.).
10. Rimareva L.V., Volkova G.S., Kuksova E.V., Krivova A.Yu., Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya, 2017, No. 1, pp. 39–44. (In Russ.).

11. Abd El-Tawab M.M., Youssef I.M., Bakr H.A. [et al.], Role of probiotics in nutrition and health of small ruminants, Polish journal of veterinary sciences, 2016, Vol. 19, No. 4, pp. 893–906, DOI: 10.1515/pjvs-2016-0114.
12. Nozdryn A.G., Nozdryn G.A., Lagoda O.V., Grebenshchikova E.A., Vestnik NGAU, 2017, No. 4 (45), pp. 103–108. (In Russ.).
13. Lema M., Williams L., Rao D.R., Reduction of fecal shedding of enterohemorrhagic Escherichia coli O157:H7 in lambs by feeding microbial feed supplement, Small ruminant research, 2001, Vol. 39, No. 1, pp. 31–39, DOI: 10.1016/s0921-4488(00)00168-1.
14. Stephens T.P., Longeragan G.H., Karunasena E. [et al.], Reduction of Escherichia coli O157 and Salmonella in feces and on hides of feedlot cattle using various doses of a direct-fed microbial, Journal of food protection, 2007, Vol. 70, No. 10, pp. 2386–2391, DOI: 10.4315/0362-028x-70.10.2386.
15. Gavrilova E.A., Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2008, No. 1 (17), pp. 181–182. (In Russ.).
16. Apas A.L., Dupraz J., Ross R. [et al.], Probiotic administration effect on fecal mutagenicity and microflora in the goat's gut, Journal of bioscience and bioengineering, 2010, Vol. 110, No. 5, pp. 537–540, DOI: 10.1016/j.jbiosc.2010.06.005.
17. Funk I.A., Vladimirov N.I., Kravchenko A.P. [et al.], Dairy goat's productivity using the probiotic preparation Plantarum in the diet, IOP Conf. series: Earth and environmental science, 2021, Vol. 723, pp. 022012, DOI: 10.1088/1755-1315/723/2/022012.
18. Mami A., Kerfouf A., Kihal M., Study of the antimicrobial and probiotic effect of Lactobacillus plantarum (P6) isolated from raw goat's milk from the region of Western Algeria, World applied sciences journal, 2014, Vol. 32, No. 7, pp. 1304–1310, DOI: 10.5829/idosi.wasj.2014.32.07.1993.
19. Maragkoudakis P.A., Mountzouris K.C., Rosu C. [et al.], Feed supplementation of Lactobacillus plantarum PCA 236 modulates gut microbiota and milk fatty acid composition in dairy goats – A preliminary study, International journal of food microbiology, 2010, Vol. 141, pp. 109–116, DOI: 10.1016/j.jfoodmicro.2010.03.007.
20. Stella A.V., Paratte R., Valnegri L. [et al.], Effect of administration of live Saccharomyces cerevisiae on milk production, milk composition, blood metabolites, and faecal flora in early lactating dairy goats, Small ruminant research, 2007, Vol. 67, pp. 7–13, DOI: 10.1016/j.smallrumres.2005.08.024.
21. Ma Z.-Z., Cheng Y.-Y., Wang P.-Q. [et al.], Positive effects of dietary supplementation of three probiotics on milk yield, milk composition and intestinal flora in Sannan dairy goats varied in kind of probiotics, Journal of animal physiology and animal nutrition, 2020, Vol. 104, pp. 44–55, DOI: 10.1111/jpn.13226.
22. Valiullin L.R., Mukhammadiev Rish.S., Mukhammadiev Rin.S., Egorov V.I., Rud V.Yu., Glinushkin A.P., Achievements of science and technology of AIC, 2021, Vol. 35, No. 9, pp. 60–66, DOI: 10.53859/02352451_2021_35_9_60. (In Russ.).
23. Whitley N.C., Cazac D., Rude B.J. [et al.], Use of a commercial probiotic supplement in meat goats, Journal of animal science, 2009, Vol. 87, No. 2, pp. 723–728, DOI: 10.2527/jas.2008-1031.
24. Apas A.L., Arena M.E., Colombo S. [et al.], Probiotic administration modifies the milk fatty acid profile, intestinal morphology, and intestinal fatty acid profile of goats, Journal of dairy science, 2013, Vol. 98, No. 1, pp. 47–54, DOI: 10.3168/jds.2013-7805.
25. Daş G., Ataşoğlu C., Ülkü H.I. [et al.], Can kefir reduce coccidial oocysts output in goat kids? Proceedings of 58th annual meeting of the EAAP, Dublin, 2007.
26. Daş G., Ataşoğlu C., Akbağ H.I. [et al.], Effects of kefir on coccidial oocysts excretion and performance of dairy goat kids following weaning, Tropical animal health and production, 2012, Vol. 44, No. 5, pp. 1049–1055, DOI: 10.1007/s11250-011-0039-3.
27. Pushkarev M.G., Sovremennye sposoby povysheniya produktivnykh kachestv sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh, ptits i ryb (Modern ways to improve the productive qualities of farm animals, poultry and fish), Proceedings of the All-Russian conference, Saratov, 2020, pp. 117–120. (In Russ.).

28. Gavrilova E.A., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2009, No. 1 (21), pp. 221–223. (In Russ.).
29. Funk I.A., *Vestnik NGAU*, 2022, No. 3 (64), pp. 134–141, DOI:10.31677/2072-6724-2022-64-3-134-141. (In Russ.).
30. Novopashina S.I., Sannikov M.Yu., Ideya V.P., Kizilova E.I., Griga O.E., *Ovtsy, kozy, sherstyano delo*, 2018, No. 2, pp. 34–36. (In Russ.).
31. Mokhammad S.S., *Veterinarna meditsina*, 2014, No. 99, pp. 126–129. (In Russ.).
32. Ekwemalor K., Asiamah E., Osei B. [et al.], Evaluation of the effect of probiotic administration on gene expression in goat blood, *Journal of molecular biology research*, 2017, Vol. 7, No. 1, pp. 88–98, DOI: 10.5539/jmbr.v7n1p88.
33. Cai L., Yu J., Hartanto R. [et al.], Dietary supplementation with *Saccharomyces cerevisiae*, *Clostridium butyricum* and their combination ameliorate rumen fermentation and growth performance of heat-stressed goats, *Animals*, 2021, Vol. 11, No. 7, p. 2116, DOI: 10.3390/ani11072116.
34. Gavrilova E.A., Meshkov V.M., *Sbornik nauchnykh trudov Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva i kormoproizvodstva* (Collection of scientific papers of the Stavropol scientific research institute of animal husbandry and feed production), Stavropol', 2009, No. 1 (1-1), pp. 131–133. (In Russ.).
35. Gavrilova E.A., Kameneva I.N., *Sel'skokhozyaistvennyye nauki i agropromyshlennyy kompleks na rubezhe vekov*, 2014, No. 5, pp. 214–217. (In Russ.).
36. Gavrilova E.A., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2007, No. 4 (16), pp. 99–100. (In Russ.).
37. Serban D.E., *Gastrointestinal cancers: influence of gut microbiota, probiotics and prebiotics*, *Cancer letters*, 2014, Vol. 345, pp. 258–270, DOI: 10.1016/j.canlet.2013.08.013.
38. Utz E.M., Apas A.L., Díaz M.A. [et al.], Goat milk mutagenesis is influenced by probiotic administration, *Small ruminant research*, 2018, Vol. 161, pp. 24–27, DOI: 10.1016/j.smallrumres.2018.02.009.
39. Apas A.L., Gonzalez S.N., Arena M.E., Potential of goat probiotic to bind mutagens, *Anaerobe*, 2014, Vol. 28, pp. 8–12, DOI: 10.1016/j.anaerobe.2014.04.004.
40. Funk I.A., Vladimirov N.I., *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, No. 7 (189), pp. 83–87. (In Russ.).
41. Abd El-Ghani A.A., Influence of diet supplementation with yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on performance of Zaraibi goats, *Small ruminant research*, 2004, Vol. 52, No. 3, pp. 223–229, DOI: 10.1016/j.smallrumres.2003.06.002.
42. Makar Z.N., *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh*, 2013, No. 1, pp. 30–38. (In Russ.).
43. Makar Z.N., Kharitonov E.L., Cherepanov G.G., Lactogenic effects of probiotic preparation on the base of recombinant lactobacilli with growth hormone releasing factor gene in ruminants, *Journal of agriculture and environment*, 2019, Vol. 4, No. 12, pp. 1–7, DOI: 10.23649/jae.2019.4.12.18.
44. Rodríguez-Alcalá L.M., Braga T., Malcata F.X. [et al.], Quantitative and qualitative determination of CLA produced by *Bifidobacterium* and LAB by combining spectrophotometric and Ag⁺-HPLC techniques, *Food chemistry*, 2011, Vol. 125, pp. 1373–1378, DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.10.008.
45. Kumar M., Dutta T.K., Chaturvedi I., Effect of probiotics supplementation on live weight in lactating Barbari goats, *Journal of biological sciences and medicine*, 2016, Vol. 2, No. 3, pp. 24–30.
46. Salvedia C., Supangco E., Vega R. [et al.], Effect of probiotic feeding on milk yield and components of crossbred dairy goats, *Philippine journal of veterinary and animal sciences*, 2015, Vol. 41, No. 1, pp. 21–30.
47. Kravchenko A.P., Vladimirov N.I., *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, No. 5 (199), pp. 79–83. (In Russ.).
48. Mamta, Sharma P., Effect of probiotics on bodyweight gain and feed conversion ratio in goat kids, *Haryana veterinarian*, 2008, Vol. 47, pp. 39–40.
49. Abilov B.T., Sinel'shchikova I.A., *Sbornik nauchnykh trudov Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva i kormoproizvodstva* (Collection of scientific papers

- of the Stavropol scientific research institute of animal husbandry and feed production), 2007, Vol. 2, No. 2–2, pp. 114–115. (In Russ.).
50. Kowalik B., Michałowski T., Pająk J.J. [et al.], The effect of live yeast, *Saccharomyces cerevisiae*, and their metabolites on ciliate fauna, fibrolytic and amylolytic activity, carbohydrate digestion and fermentation in the rumen of goats, *Journal of animal and feed sciences*, 2011, Vol. 20, pp. 526–536, DOI: 10.22358/jafs/66206/2011.
51. Galina M.A., Ortiz-Rubio M.A., Delgado-Pertiñez M. [et al.], Goat kid's growth improvement with a lactic probiotic fed on a standard base diet; Papachristou T.G., Parissi Z.M., Ben Salem H., Morand-Fehr P., editors. *Nutritional and foraging ecology of sheep and goats*. Zaragoza: CIHEAM / FAO / NAGREF, 2009, pp. 315–322.
52. Taboada N., Salom M.F., Córdoba A. [et al.], Administration of selected probiotic mixture improves body weight gain and meat fatty acid composition of creole goats, *Food bioscience*, 2022, Vol. 49, p. 101836, DOI: 10.1016/j.fbio.2022.101836.
53. Sivadasan K.S., Subramannian S., Comparison of growth performance of goat kids under supplementation with different probiotics, *Journal of animal research*, 2020, Vol. 10, No. 6, pp. 1063–1065, DOI: 10.30954/2277-940X.06.2020.28.
54. Jinturkar A.S., Gujar B.V., Chauhan D.S. [et al.], Effect of feeding probiotics on the growth performance and feed conversion efficiency in goat, *Indian journal of animal research*, 2009, Vol. 43, No. 1, pp. 49–52.
55. Kochewad S.A., Chahande J.M., Kanduri A.B. [et al.], Effect of probiotic supplementation on growth parameters of Osmanabadi kids, *Veterinary world*, 2009, Vol. 2, No. 1, pp. 29–30.
56. Titi H.H., Dmour R.O., Abdullah A.Y., Growth performance and carcass characteristics of Awassi lambs and Shami goat kids fed yeast culture in their finishing diet, *Animal feed science and technology*, 2008, Vol. 142, pp. 33–43, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2007.06.034.
57. Ataşoğlu C., Akbağ H.I., Tölü C. [et al.], Effects of kefir as a probiotic source on the performance of goat kids, *South African journal of animal science*, 2010, Vol. 40. No. 4, pp. 363–370.
58. Ayışığı K., Ataşoğlu C., Yaman Yurtman I. [et al.], Effect of probiotic supplementation shortly before and after weaning on growth of Turkish Saanen kids, *Archives animal breeding*, 2005, Vol. 48, No. 6, pp. 601–611.

