

ВЕСТНИК НГАУ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
VESTNIK NGAU NOVOSIBIRSK STATE AGRARIAN UNIVERSITY



№2(75)
2025

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК НГАУ

Новосибирский
государственный
аграрный
университет

Научный журнал

№ 2(75)2025

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

Russian Science
Citation Index

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., зав. 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)

Редакционная коллегия:

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, доцент кафедры защиты растений ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

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

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

Васильева О.Ю. – д-р биол. наук, доцент, зав. лабораторией декоративных растений Центрального сибирского ботанического сада (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 ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

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

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

Донченко А.С. – д-р вет. наук, акад. РАН, руководитель ИЭВСиДВ Сибирского федерального научного центра агроботаники Российской академии наук (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, проректор по научной работе ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ (Новосибирск, Россия)

Капустянчик С.Ю. – д-р с.-х. наук, директор СибНИИРС ИЦиГ СО РАН (Новосибирск, Россия)

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

Костомахин Н.М. – д-р биол. наук, проф. кафедры молочного и мясного скотоводства РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

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

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

Минджун Ли. – проф., директор Института биотехнологии животных Академии животноводства КНР (Синьцзян, Китай)

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)

Петров А.Ф. – д-р с.-х. наук, директор Института агроботаники НГАУ (Новосибирск, Россия)

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 Мефодия (Скопье, Македония)

Саттаров Д.С. – д-р с.-х. наук, директор центра инновационной биологии и медицины НАН Таджикистана (Душанбе, Таджикистан)

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, ведущий научный сотрудник ИПА СО 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 *О.Н. Мищенко*

Редактор *М.А. Мжельская*

Компьютерная верстка *В.С. Колбин*

Дата выхода в свет 30 июня 2025 г. Свободная цена.

Формат 60 × 84 1/8. Объем 31,5 уч.-изд. л. Бумага офсетная.

Гарнитура «Times New Roman». Заказ № 2822.

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. 2(75)2025

**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:

Rudoy E.V. – D.Sc. (Econ.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Rector of the Novosibirsk State Agrarian University, Chairman of the Editorial Board (Novosibirsk, Russia)

Kochnev N.N. – D.Sc. (Biol.), Professor, Head of the Department of Veterinary Genetics and Biotechnology of the Novosibirsk State Agrarian University, Editor-in-Chief (Novosibirsk, Russia)

Kamal'tdinov E.V. – D.Sc. (Biol.), Associate Professor, Deputy Editor-in-Chief (Novosibirsk, Russia)

Editorial Board:

Abramov N.V. – D.Sc. (Agr.), Professor, Head of the Department of Soil Science and Agrochemistry, Northern Trans-Urals State Agrarian University (Tyumen, Russia)

Belyaev A.A. – D.Sc. (Agr.), Associate Professor, Department of Plant Protection, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Budazhapov L.V. – D.Sc. (Biol.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Buryat Scientific Research Institute of Agriculture SB RAS (Ulan-Ude, Russia)

Bulashev A.K. – D.Sc. (Vet.), Professor, Department of Biotechnology and Microbiology, S. Seifullin Kazakh Agro-technical University (Astana, Kazakhstan)

Vasilieva O.Yu. – D.Sc. (Biol.), Associate Professor, Head of the Laboratory of Ornamental Plants, Central Siberian Botanical Garden (Novosibirsk, Russia)

Vyshegurov S.Kh. – D.Sc. (Agr.), Professor, Head of the Department of Botany and Landscape Architecture, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Galeev R.R. – D.Sc. (Agr.), Professor of the Department of Plant Growing and Forage Production, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Gamzikov G.P. – D.Sc. (Biol.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Goncharov N.P. – D.Sc. (Biol.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

Dobrovorskaya N.I. – D.Sc. (Agr.), Chief Researcher Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

Donchenko A.S. – D.Sc. (Vet.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Institute of the Veterinary Medicine of the Siberian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

Dubovsky I.M. – D.Sc. (Biol.), Head of the Laboratory of Biological Protection and Biotechnology, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Zhuchayev K.V. – D.Sc. (Biol.), Vice-Rector for Research, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Kapustyanichik S.Yu. – D.Sc. (Agr.), Director of the Siberian Research Institute of Plant Cultivation and Breeding – Branch of Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

Kashevarov N.I. – D.Sc. (Agr.), Head of the Siberian Research Institute of Feed SFSCA RAS (Novosibirsk, Russia)

Kostomakhin N.M. – D.Sc. (Biol.), Professor of the Department of Dairy and Beef Cattle Breeding of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)

Kochetov A.V. – D.Sc. (Biol.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

Mager S.N. – D.Sc. (Biol.), Professor, Head of the Siberian Research Institute of Animal Science of the Siberian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

Mingjun Liu. – Professor, Director of the Institute of Animal Biotechnology of the Chinese Academy of Animal Science (Xinjiang, China)

Nozdrin G.A. – D.Sc. (Vet.), Prof., Professor, Department of Pharmacology and General Pathology, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Nurgaziev R.Z. – D.Sc. (Vet.), Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Rector of the Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Skryabin (Bishkek, Kyrgyzstan)

Petrov A.F. – D.Sc. (Agr.), Director of the Institute of Agrobiotechnology, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Petukhov V.L. – D.Sc. (Biol.), Prof., Professor, Department of Veterinary Genetics and Biotechnology, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Popovski Z. – D.Sc. (Agr.), Professor, Department of Biochemistry and Genetic Engineering, University of St. Cyril and Methodius (Skopje, Macedonia)

Sattarov D.S. – D.Sc. (Agr.), Director of the Center for Innovative Biology and Medicine of the National Academy of Sciences of Tajikistan (Dushanbe, Tajikistan)

Soloshenko V.A. – D.Sc. (Agr.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Siberian Research Institute of Animal Science of the Siberian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

Sharkov I.N. – D.Sc. (Biol.), Chief Researcher of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the RAS (Novosibirsk, Russia)

Sheiko I.P. – D.Sc. (Agr.), Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Belarus, First Deputy Director General of the Republican Unitary Enterprise “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry” (Zhodino, Belarus)

Typing: *Mishchenko O.N.*

Editor *Mzhelskaya M.A.*,

Desktop publishing: *Kolbin V.S.*

Date of publication Juny 30th 2025. 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. 2822.

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

- Беланова А.П., Ворожейкина Н.Г., Лях Е.М., Вышегуров С.Х., Иванова Д.А.** Биоресурный потенциал инвазивного вида *Acer negundo* L. как источник продуктов функционального назначения
- Беляев А.А., Стороженко А.А., Шпатова Т.В.** Влияние штаммов бактерий рода *Bacillus* на листостеблевые инфекции при выращивании плодоносящей земляники
- Жданова И.Л., Кашеваров Н.И.** Рост и развитие растений фестулолиума в зависимости от агротехнологических приемов и условий возделывания в лесостепи Западной Сибири
- Касаткина Н.И., Нелюбина Ж.С.** Урожайность семян люцерны изменчивой в зависимости от приемов посева в Среднем Предуралье
- Колоколов Р.Р., Беляев А.А.** Полифункциональное действие штаммов бактерий *Bacillus licheniformis* на плодоносящей плантации садовой земляники
- Королева Е.В.** Оценка исходного материала кларки (*Clarkia pursh*) по селекционно ценным хозяйственно-биологическим признакам в условиях юга Западной Сибири
- Кузьмин П.А., Лушникова Е.С., Романова И.М.** Использование ISSR-маркеров для генотипирования джугуна безлистного (*Calligonum aphyllum* (Pall.) Guerke), произрастающего на территории Астраханской области и Ставропольского края
- Петухова М.С., Добрянская С.Л.** Долгосрочный прогноз развития отрасли растениеводства Сибири в условиях глобального изменения климата
- Потешкина А.А., Апарина В.А., Пискарев В.В.** Влияние концентрации сахарозы на рост и развитие регенерантов земляники садовой
- Садохина Т.А., Матенькова Е.А., Гаврилец Т.В., Петров А.Ф., Данилов В.П., Кокорин А.В., Шашко Ю.К., Пироговская Г.В., Хмелевский С.С., Зубаревич Д.Л.** Эффективность органических и органоминеральных удобрений на основе куриного помета в лесостепной зоне Западной Сибири и на дерново-подзолистых почвах Беларуси
- Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М.** Использование новых бактериальных и грибных штаммов и их ассоциаций в технологии возделывания яровой пшеницы

ВЕТЕРИНАРИЯ, ЗООТЕХНИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ

- Аббас К.С., Новочадов В.В.** Биоконверсия лактозы в этанол дрожжами *Kluyveromyces lactis* как этап утилизации подсырной сыворотки
- Афанасьева Ю.Г., Колодина Е.В., Корбмахер Е.Р., Шуваев Е.В., Гришаева И.Н.** Применение экспериментального пробиотического препарата в кормлении телят молочного периода выращивания
- Веснина Л.В., Безматерных Д.М., Лассый М.В., Веснин Ю.А.** Морфометрические особенности *Artemia* spp. (Crustacea: Anostraca) из разнотипных гипергалинных озер юга Западной Сибири

AGRONOMY

- Belanova A.P., Vorozheykina N.G., Lyakh E.M., Vyshegurov S.Kh., Ivanova D.A.** Bioresource potential of the invasive species *Acer negundo* L. as a source of functional purpose products **5**
- Belyaev A.A., Storozhenko A.A., Shpatova T.V.** Influence of *Bacillus* bacteria strains on leaf-stem infections in cultivation of fruit-bearing strawberries **12**
- Zhdanova I.L., Kashevarov N.I.** Growth and development of festulium plants depending on agrotechnological methods and cultivation conditions in the forest-steppe of Western Siberia **20**
- Kasatkina N.I., Nelyubina Zh.S.** Variegated alfalfa seed yield depending on sowing methods in the Cis-middle Urals **28**
- Kolokolov R.R., Belyaev A.A.** Polyfunctional effect of *Bacillus licheniformis* bacterial strains on a fruiting plantation of garden strawberry **36**
- Koroleva E.V.** Assessment of the source material of *Clarkia Pursh* by breeding valuable economic and biological characteristics in the conditions of the south Western Siberia **46**
- Kuzmin P.A., Lushnikova E.S., Romanova I.M.** Using ISSR-markers for genotyping *Calligonum aphyllum* (Pall.) Guerke, growing in the Astrakhan region and Stavropol region **61**
- Petukhova M.S., Dobryanskaya S.L.** Long-term forecast of the development of the Siberian crop industry in the context of global climate change **69**
- Poteshkina A.A., Aparina V.A., Piskarev V.V.** Influence of sucrose concentration on the growth and development of strawberry regenerants **79**
- Sadokhina T.A., Matenkova E.A., Gavrilets T.V., Petrov A.F., Danilov V.P., Kokorin A.V., Pirogovskaya G.V., Shashko Yu.K., Khmelevsky S.S., Zubarevich D.L.** Efficiency of organic and organo-mineral fertilizers based on chicken manure in the forest-steppe zone of Western Siberia and on sod-podzolic soils of Belarus **88**
- Sheshegova T.K., Shchekleina L.M.** Use of new bacterial and fungal strains and their associations in spring wheat cultivation technology **99**

VETERINARY, ANIMAL SCIENCES AND BIOTECHNOLOGY

- Abbas K.S., Novochadov V.V.** Bio-conversion of lactose to ethanol by *Kluyveromyces lactis* yeast as a stage of cheese whey utilization **106**
- Afanaseva Y.G., Kolodina E.V., Korbmakher E.R., Shuvaev E.V., Grishaeva I.N.** Application of an experimental probiotic preparation in feeding of calves of the dairy period of rearing **116**
- Vesnina L.V., Bezmaternyh D.M., Lassyi M.V., Vesnin Yu.A.** Morphometric features of *Artemia* spp. (crustacea: anostraca) from different types of hyperhaline lakes in the south of Western Siberia **125**

Дауда Сампу, Мамадуба Бангура, Муктар Силла, Альфа Соу, Н'Фали Байо. Влияние количества сахара на массу и качество продуктов из мякоти плодов баобаба	Dauda Sampou, Mamadouba Bangoura, Mouctar Sylla, Alpha Sow, N'Fali Bayo. Influence of sugar quantity on the mass and quality of products from baobab fruits pulp	142
Дудник Д.Е., Иркитова А.Н., Малкова А.В., Кожевникова Е.Н. Влияние разных источников углерода на продукцию биосурфактантов природными штаммами <i>Bacillus</i> spp.	Dudnik D.E., Irkitova A.N., Malkova A.V., Kozhevnikova E.N. Effect of different carbon sources on biosurfactant production by natural strains of <i>Bacillus</i> spp.	152
Дунина В.А., Гостева Е.Р. Влияние интенсивности раздоя коров первой лактации симментальской породы на их пожизненную продуктивность и продолжительность продуктивного использования	Dunina V.A., Gosteva E.R. Influence of intensity of milking of simmental breed first lactation cows on their lifelong productivity and duration of productive use	160
Ильясов Р.А., Ильясова А.Ю., Саттаров В.Н. Особенности таксономии медоносной пчелы <i>Apis mellifera</i>	Ilyasov R.A., Ilyasova A.Yu., Sattarov V.N. Taxonomical features of the honey bee <i>Apis mellifera</i>	170
Климанова Е.А., Коновалова Т.В., Себезко О.И., Петухов В.Л., Тарасенко Е.И., Назаренко А.В., Александрова Д.А. Полиморфизм в гене <i>BMPR-1B</i> и его связь с липидным обменом у овец	Klimanova E.A., Konovalova T.V., Sebezko O.I., Petukhov V.L., Tarasenko E.I., Nazarenko A.V., Alexandrova D.A. Polymorphism in the <i>BMPR-1B</i> gene and its relationship with lipid metabolism in sheep	186
Коновалова Т.В., Климанова Е.А., Назаренко А.В., Тарасенко Е.И., Себезко О.И. Показатели белкового обмена у овец с разными генотипами по гену миостатина	Konovalova T.V., Klimanova E.A., Nazarenko A.V., Tarasenko E.I., Sebezko O.I. Protein metabolism indicators in sheep with different genotypes of the myostatin gene	192
Кротова М.Г., Гришаева И.Н., Королькова А.И., Неприятель А.А., Белозерских И.С. Аминокислотный состав биосубстанций в зависимости от способа экстракции пантов маралов	Krotova M.G., Grishaeva I.N., Korolkova A.I., Nepriyatel A.A., Belozerskyh I.S. Amino acid composition of biosubstances depending on the method of maral velvet antler extraction	200
Кудрявцева Д.Е., Распутина О.В. Гистологическое строение гипофиза у представителей отряда хищных	Kudryavtseva D.E., Rasputina O.V. Histological structure of the pituitary gland of carnivores	207
Плаксин И.Е., Трифанов А.В. Модели для разработки интеллектуальной системы управления процессом откорма цыплят-бройлеров	Plaksin I.E., Trifanov A.V. Models for the development of an intelligent control system for the process of fattening broiler chickens	214
Плахова А.А., Самсонова И.Д., Баталова С.В. Влияние абиотических факторов на сбор нектара и пыльцы в Васюганье	Plakhova A.A., Samsonova I.D., Batalova S.V. The influence of abiotic factors on the collection of nectar and pollen in Vasyugan	225
Полубесова М.А., Мечтаева Е.В., Чернов А.Д., Кузнецова К.Г., Журавлева А.З., Ситнов В.Ю., Кузнецова О.А. Влияние добавления муки из сверчка домашнего (<i>Acheta domesticus</i>) на характеристики овсяного печенья	Polubesova M.A., Mechtaeva E.V., Chernov A.D., Kuznetsova K.G., Zhuravleva A.Z., Sitnov V.Yu., Kuznetsova O.A. Influence of adding cricket meal (<i>Acheta domesticus</i>) on the characteristics of oatmeal cookies	232
Хромова О.Л., Абрамова Н.И., Селимян М.О., Зенкова Н.В. Факторы, влияющие на продолжительность хозяйственного использования голштинизированных коров	Khromova O.L., Abramova N.I., Selimyan M.O., Zenkova N.V. Factors affecting the duration of economic use of holstein cows	246
Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Ступина А.О., Классен И.А., Калмыкова М.С. Влияние комплексных генотипов генов <i>CSN2/CSN3</i> на хозяйственно полезные признаки коров холмогорской породы	Khudyakova N.A., Kozhevnikova I.S., Stupina A.O., Klassen I.A., Kalmykova M.S. Influence of complex genotypes of <i>CSN2/CSN3</i> genes on economically useful traits of holmogor cows	254

АГРОНОМИЯ

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-75-2-5-11

УДК 581.522.4

БИОРЕСУРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ИНВАЗИОННОГО ВИДА *ACER NEGUNDO* L. КАК ИСТОЧНИК ПРОДУКТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ^{1,2}А.П. Беланова, ²Н.Г. Ворожейкина, ¹Е.М. Лях, ²С.Х. Вышегуров, ²Д.А. Иванова¹Центральный сибирский ботанический сад, Новосибирск, Россия²Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: boronina.a@inbox.ru

Для цитирования: Биоресурный потенциал инвазионного вида *Acer negundo* L. как источник продуктов функционального назначения / А.П. Беланова, Н.Г. Ворожейкина, Е.М. Лях, С.Х. Вышегуров, Д.А. Иванова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 5–11. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-75-2-5-11.

Ключевые слова: древесные растения, кленовый сок, органолептические показатели, кислотность напитка.

Реферат. Целью данной работы являлось исследование биоресурсного потенциала клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) для прогнозирования возможности внедрения данного растения в пищевую промышленность. В настоящее время исследование потенциала практического применения клена ясенелистного приобретает повышенное значение в связи с тем, что этот вид является одним из наиболее агрессивных инвазионных древесных растений и активно внедряется в местные леса Новосибирской области. В качестве сырья для разработки технологии производства продуктов питания из клена ясенелистного был выбран сок растений. Сбор сока проводился в экологически чистой зоне города Новосибирска (территория Центрального сибирского ботанического сада СО РАН). Для сбора материала отбирались здоровые деревья, у которых отсутствовали визуальные признаки грибных заболеваний и повреждений ствола. Наиболее подходящим сроком для сбора сока клена ясенелистного в сезон (2022–2023 гг.) в местных условиях является середина апреля. В результате проведения исследований доказано, что сок *Acer negundo* подходит для изготовления функциональных напитков. При составлении рецептуры в качестве наполнителя для продукта были выбраны ягоды аборигенных видов растений (брусники, черники, клюквы). В качестве подсластителя была использована пищевая добавка – подсластитель E960 Стевиолгликозиды. По результатам проведенной дегустационной оценки наибольший средний балл (4,80) набрал напиток с брусникой. Данный напиток отличался насыщенным вкусом с умеренной кислотой и приятным запахом. Пищевая ценность готового функционального напитка на основе сока клена ясенелистного на 100 мл составила 16,33 ккал у образца с брусникой, 22,03 – с клюквой, 22,06 – с черникой.

BIORESURFACE POTENTIAL OF THE INVASIVE SPECIES *ACER NEGUNDO* L. AS A SOURCE OF FUNCTIONAL PURPOSE PRODUCTS^{1,2}A.P. Belanova, ²N.G. Vorozheykina, ¹E.M. Lyakh, ²S.Kh. Vyshegurov, ²D.A. Ivanova¹Central Siberian Botanical Garden, Novosibirsk, Russia²Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: boronina.a@inbox.ru

Keywords: woody plants, maple sap, organoleptic properties, drink acidity.

Abstract. The aim of this work was to study the bioresource potential of box elder (*Acer negundo* L.) to predict the possibility of introducing this plant into the food industry. Currently, the study of the practical application potential of box elder is of particular importance due to the fact that this species is one of the most aggressive invasive woody plants and is actively introduced into local forests of the Novosibirsk Region. Plant sap was chosen as raw material for the development of technology for the production of food products from box elder. Sap was collected in an ecologically clean area of the city of Novosibirsk (the territory of the Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences). Healthy trees with no visual signs of fungal diseases or trunk damage were selected for material collection. The most suitable time for collecting box elder

sap in the season (2022-2023) in local conditions is mid-April. As a result of the research, it was proven that *Acer negundo* juice is suitable for the production of functional drinks. When compiling the recipe, berries of native plant species (lingonberries, blueberries, cranberries) were chosen as a filler for the product. A food additive, sweetener E960 Steviol glycosides, was used as a sweetener. According to the results of the tasting assessment, the drink with lingonberries received the highest average score (4.80). This drink was distinguished by a rich taste with moderate acidity and a pleasant smell. The nutritional value of the finished functional drink based on box elder juice per 100 ml was 16.33 kcal for the sample with lingonberries, 22.03 for the sample with cranberries, 22.06 for the sample with blueberries.

В последнее время отмечается необходимость разработки национальных систем функциональных продуктов питания для улучшения качества и продолжительности жизни населения [1].

В этой связи большое внимание уделяется исследованиям нетрадиционных источников продуктов функционального назначения [2, 3].

В качестве перспективных объектов для производства таких продуктов предлагаются различные растения, в том числе древесные: виноград амурский (*Vitis amurensis* Rupr.), орех маньчжурский (*Juglans mandshurica* Maxim.), виды рода актинидия (*Actinidia*) и др. [4].

Общеизвестна возможность использования сока представителей рода *Acer* L. как основного ингредиента функциональных напитков, характеризующихся различным спектром действия благодаря входящим в состав биологическим и фармакологическим веществам. Популярность функциональных продуктов на основе кленового сока обусловлена антиоксидантными и противовоспалительными свойствами [5–8]. Функциональные напитки из сока клена рекомендуются широкой группе потребителей, но особенно делается акцент на пользу данного продукта для спортсменов, так как употребление таких напитков позволяют избежать гипогликемии во время интенсивных тренировок. Однако в этих исследованиях никогда не использовался в качестве основного ингредиента сок клена ясенелистного (*Acer negundo* L.). При этом имеющиеся публикации показывают высокую перспективность использования разных частей этого вида в пищевой промышленности [6].

Особое значение исследования потенциала клена ясенелистного приобретают в связи с тем, что этот вид является одним из наиболее агрессивных инвазионных древесных растений и имеет значительные ресурсы. На сегодняшний день вторичный ареал *A. negundo* является самым широким и занимает все континенты кроме Антарктиды [9]. Экологическая пластичность, обильное плодоношение, эффективное распространение плодов и их высокая всхожесть, а также действенный механизм закрепления молодых растений

на новом месте и респрутинг способствовали активному расселению клена ясенелистного в разнообразных местообитаниях [10].

Несмотря на указанную инвазионную агрессивность *A. negundo*, на территории Центрального сибирского ботанического сада (ЦСБС СО РАН) этот вид распространен незначительно, что связано с сохранением значительных массивов ненарушенных естественных сообществ. Внедрение *A. negundo* происходит обычно по дорогам и влажным западинам с нарушением растительности, где он образует заросли. Наиболее заметное присутствие клена ясенелистного отмечено в северо-западной части территории ЦСБС СО РАН – по бортам хорошо врезанных оврагов, где распространены сосново-осочковые леса в сочетании с крупнотравными и страусниковыми осинниками по днищам [11]. Также популяции *A. negundo* отмечаются в юго-восточной части территории, где преобладают березовые и сосново-березовые снытево-орляковые леса в сочетании с крупнотравными и страусниковыми осинниками по днищам мелких замкнутых западин. Однако в этих местообитаниях клен ясенелистный распространен преимущественно вблизи дорог.

Цель работы – исследование биоресурсного потенциала клена ясенелистного (*Acer negundo*) как нетрадиционного источника продуктов функционального назначения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сбор сока проводили в экологически чистой зоне города Новосибирска (территория ЦСБС СО РАН) с экземпляров клена ясенелистного, жизненное состояние которых оценивалось как здоровое в соответствии с методикой В.А. Алексева [12]. Из этой группы для дальнейшей работы методом случайной выборки было отобрано 10 растений в качестве модельных объектов. Все модельные растения имели хорошо развитую крону, у них отсутствовали визуальные признаки грибковых болезней и повреждений ствола.

Для определения нагрузки на подсачиваемое дерево, т.е. для установления числа просверлива-

емых в нем отверстий, использовалась техника заготовки березового сока [13]. Согласно методике число подсочных отверстий зависит от диаметра дерева: 20–26 см – одно отверстие; 27–34 см – два отверстия; 35–40 см – три отверстия; свыше 40 см – не более четырех отверстий. Два и больше подсочных отверстия на дереве располагаются на одной стороне ствола на расстоянии 8–15 см друг от друга с таким расчетом, чтобы сок стекал в один сокоприемник. В нашем эксперименте диаметр модельных растений не превышал 22 см, в связи с чем производили одно отверстие на высоте 130 см. Сбор сока проводили в середине апреля.

Анализы ГОСТ 32101–2013 «Консервы. Продукция соковая. Соки фруктовые прямого свежесобранного растительного сырья (сока) проводили согласно РСТ РСФСР 537–82 «Сок березовый натуральный – полуфабрикат. Технические условия».

Органолептические показатели первичного прототипа функционального напитка на основе сока клена ясенелистного выявляли методом балльной оценки ГОСТ 6687.5–86 «Продукция безалкогольной промышленности. Методы определения органолептических показателей и объема продукции». При проведении дегустаций с оценкой по балльной системе, в основу которой положена интервальная шкала, дегустатор оце-

нивает по очереди органолептические показатели продукта, выделяет отмеченные несоответствия и определяет по пятибалльной шкале выраженность их несоответствия. Сумма баллов дает конечную оценку и характеризует общее качество продукта.

Кислотность полученных образцов напитка определяли в лаборатории общественного питания Новосибирского ГАУ по ГОСТ 6687.4–86 «Напитки безалкогольные, квасы и сиропы. Методы определения кислотности». Метод определения титруемой кислотности основан на нейтрализации кислот, содержащихся в продукте, раствором гидроксида натрия (NaOH) в присутствии индикатора фенолфталеина. Кислотность выражалась в см³ раствора гидроксида натрия концентрацией 1 моль/дм, израсходованного на титрование 100 мл напитка.

Пищевую и энергетическую ценность готовых напитков определяли расчетным путем [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ возрастного и жизненного состояний растений клена ясенелистного показал, что большая их часть относится к группе «здоровые», средневозрастные. Их биолого-морфологические параметры приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Биолого-морфологические параметры модельных деревьев
Biological and morphological parameters of model trees**

Параметр	Коллекция ЦСБС
Высота, м	3,7
Диаметр ствола, см	20–22
Возраст, лет	30
Форма кроны	Широкая, раскидистая

Анализ вкусовых характеристик сока в период сокодвигания показал, что наиболее подходящим сроком для его сбора в сезон (2022–2023 гг.) является середина апреля. В более поздние сроки

сок приобретает характерный горьковатый вкус. Кроме того, в это время происходит достаточно активное сокодвигание – в среднем емкость 5 л заполнялась в течение суток (табл. 2)

Таблица 2

**Характеристика сбора материала
Characteristics of material collection**

Показатель	Среднее значение
Диаметр трубки, мм	0,8
Время, ч	24
Количество сока, мл	5000
Скорость сокодвигания, мл/ч	208

Для составления рецептуры функциональных напитков на основе кленового сока в качестве фруктовых наполнителей были выбраны ягоды

аборигенных видов растений (брусники, черники, клюквы) (табл. 3).

Таблица 3

Рецептуры ассортиментной линейки функциональных напитков на основе сока клена ясенелистного
Recipes for a range of functional drinks based on box elder juice

Сырье	Норма закладки на 1000 мл					
	Рецептура 1		Рецептура 2		Рецептура 3	
	Брутто	Нетто	Брутто	Нетто	Брутто	Нетто
Кленовый сок	1100	1100	1100	1100	1100	1100
Стевиогликозид	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3
Брусника	453	300	–	–	–	–
Клюкwa	–	–	441	300	–	–
Черника	–	–	–	–	507	300
Выход	–	1000	–	1000	–	1000

В качестве подсластителя была использована пищевая добавка, разрешенная для применения при производстве пищевой продукции, – подсластитель E960 Стевиолгликозиды (STEVIOL GLYCOSIDES), включенный в перечень пищевых добавок решением совета Евразийской экономической комиссии (ЕЭК) о внесении изменений в техрегламент о пищевых добавках от 27 февраля 2024 г. (прил. 2 к ТР ТС 029/2012). Ранее входившая в этот перечень пищевая добавка «стевия

(*Stevia rebaudiana* Bertoni), порошок листьев и сироп из них, экстракты стевии» с технологической функцией «подсластитель» была исключена из установленного прил. 2 к ТР ТС 029/2012 перечня пищевых добавок, разрешенных для применения при производстве пищевой продукции.

Подсластитель E960 в 200 раз слаще сахара, не имеет калорий и не влияет на уровень сахара в крови, поэтому может использоваться лицами с сахарным диабетом и с повышенной массой тела.

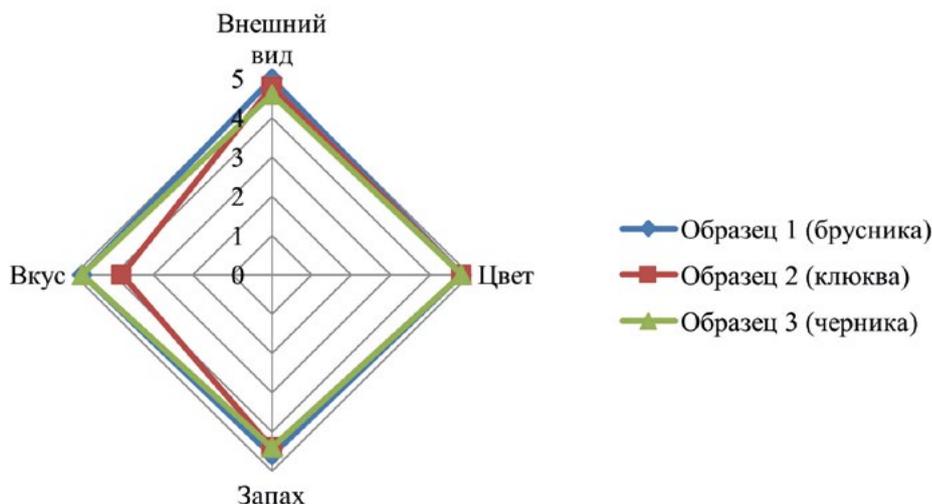
Таблица 4

Органолептические показатели готового функционального напитка на основе сока клена ясенелистного
Organoleptic characteristics of the finished functional drink based on box elder juice

Показатель	Образец 1 (брусника)	Образец 2 (клюкwa)	Образец 3 (черника)
Вкус, цвет, запах	Вкус кисло-сладкий, характерный для используемой ягоды. Цвет и запах свойственны компонентам, входящим в состав. Посторонние вкусы и запахи отсутствуют	Вкус кисло-сладкий, с горечью, характерной для используемой ягоды. Цвет и запах свойственны компонентам, входящим в состав. Посторонние вкусы и запахи отсутствуют	Вкус сладкий, характерный для используемой ягоды. Цвет и запах свойственны компонентам, входящим в состав. Посторонние вкусы и запахи отсутствуют
Внешний вид	Однородная непрозрачная жидкость. На дне имеется осадок	Однородная непрозрачная жидкость. На дне имеется осадок	Однородная непрозрачная жидкость. На дне имеется осадок

Исследование органолептических показателей готовых напитков показало их соответствие ГОСТ Р 56543–2015 «Напитки функциональные. Общие технические условия».

Профилограмма органолептических показателей функциональных напитков на основе сока клена ясенелистного представлена на рисунке.



Профилограмма органолептических показателей функциональных напитков на основе сока клена ясенелистного
 Profilogram of organoleptic indicators of functional drinks based on box elder juice

По результатам дегустационной оценки наибольший средний балл (4,80) набрал напиток с брусникой, который отличился насыщенным вкусом с умеренной кислотой и горечью, приятным запахом и ярким цветом. У напитка с клюквой, средний балл которого составил 4,45, члены де-

густационной комиссии отметили излишнюю горечь. Средний балл напитка с черникой (4,65) был снижен в связи с выявленным дисбалансом между запахом ягод и кленового сока.

Титруемая кислотность готового функционального напитка отражена в табл. 5.

Таблица 5

Титруемая кислотность готового функционального напитка на основе сока клена ясенелистного
 Titratable acidity of the finished functional drink based on box elder juice

Образец	Титруемая кислотность, см ³ 1 моль/1000 см ³ раствора NaOH	По ГОСТ Р 56543–2015, см ³ 1 моль/1000 см ³ раствора NaOH, не более
Образец 1 (брусника)	5,0	8,0
Образец 2 (клюква)	6,0	
Образец 3 (черника)	4,0	

Согласно проведенным исследованиям, кислотность всех трех образцов находилась в пределах нормы ГОСТ Р 56543–2015 «Напитки функциональные. Общие технические условия». Однако наиболее высокой оказалась кислотность

у образца под № 2 – функциональный напиток из кленового сока с добавлением ягод клюквы.

Расчет пищевой и энергетической ценности (табл. 6) проводился в соответствии с данными справочника «Химический состав российских пищевых продуктов» [18].

Таблица 6

Пищевая ценность готового функционального напитка на основе сока клена ясенелистного на 100 мл
 Nutritional value of ready-made functional drink based on box elder juice per 100 ml

Образец	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Энергетическая ценность, ккал
Образец 1 (брусника)	0,21	0,15	4,96	22,03
Образец 2 (клюква)	0,15	0,06	3,61	16,33
Образец 3 (черника)	0,33	0,18	4,78	22,06

По результатам исследования различия в пищевой и энергетической ценности образцов напитков на основе различных видов ягод незначительны. Низкая калорийность обусловлена использованием в рецептуре стевиогликозида, который, в отличие от сахара, имеет нулевую энергетическую ценность, так как не усваивается организмом.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что сок клена ясенелистного (*Acer negundo*) пригоден для изготовления функциональных напитков.

2. Установлено, что наиболее подходящий срок для сбора сока при использовании его в пищевой промышленности – середина апреля.

3. Разработаны рецептуры функциональных напитков на основе сока клена с добавлением ягод (черники, брусники, клюквы).

4. По органолептическим и физико-химическим показателям готовые функциональные напитки соответствуют требованиям нормативной документации.

Работа выполнена в рамках государственного задания ЦСБС СО РАН по проекту АААА-А21-121011290027-6 с использованием УНУ коллекции живых растений ЦСБС СО РАН (CSBG SB RAS USU 440534).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Концепция создания Российской национальной системы функциональных продуктов питания / Ю.В. Фотев, В.Ф. Пивоваров, А.М. Артемьева [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2018. – № 22(7). – С. 776–783. – DOI: 10.18699/VJ18.421.
2. Губаненко Г.А. Изучение возможности использования новых видов растительного сырья Красноярского края в производстве функциональных пищевых продуктов // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 1. – С. 182–186.
3. Веретнова О.Ю. Возможности использования нетрадиционного растительного сырья в производстве пищевых продуктов функционального назначения // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 6. – С. 154–158.
4. Палагина М.В., Приходько Ю.В. Обоснование использования дальневосточных растений в качестве функциональных ингредиентов в технологии пищевых продуктов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2010. – № 4(316). – С. 24–26.
5. Comparison of Antioxidant and Glutathione S-Transferase Activities of Extracts from *Acer mono* and *A. Okamotoanum* / J. Ling, G.H. Jae, H.H. Ji [et al.] // Korean J. Medicinal Crop Sci. – 2008. – Vol. 16(6). – P. 427–433.
6. Flavonoids quantification in *Acer negundo* L., extracts by hplc analysis / R. Salgado-Garciglia, A. Hernandez-Garcia, J. Montiel-Montoy [et al.] // Agro Productividad. – 2021. – DOI: 10.32854/agrop.v14i7.1953.
7. Maisuria V.B., Hosseinidoust Z., Tufenkji N. Polyphenolic Extract from Maple Syrup Potentiates Antibiotic Susceptibility and Reduces Biofilm Formation of Pathogenic Bacteria // Appl Environ Microbiol. – 2015. – Vol. 81(11). – P. 3782–3792. – DOI: 10.1128/AEM.00239-15.
8. Chemical Compositional, Biological, and Safety Studies of a Novel Maple Syrup Derived Extract for Nutraceutical Applications / Y. Zhang, T. Yuan, L.Y. Li [et al.] // J Agric Food Chem. – 2014. – Vol. 62(28). – P. 6687–6698. – DOI: 10.1021/jf501924y.
9. Файзуллина Д.Р., Крупская М.Н., Гудкова Е.П. Формирование вторичного ареала *Acer negundo* в Старом Свете // Фитоинвазии: остановить нельзя сдаваться: мат. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Москва, Ботанический сад биологического факультета МГУ, 10–11 февраля 2022 г.). – М., 2022. – С. 387–399.
10. Naturalization and invasion of alien plants: concept and definition / D.M. Richardson, P. Pyšek, M. Rejmánek [et al.] // Diversity and distribution. – 2000. – Vol. 6. – P. 93–107.
11. Растительное многообразие Центрального сибирского ботанического сада СО РАН. – Новосибирск, 2014. – 491 с.
12. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. – 1989. – № 4. – С. 51–57.
13. Иванов Н.А. Инновационная техника заготовки березового сока // Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ». – Хабаровск, 2016. – С. 90–98.
14. РСТ РСФСР 537–82. Сок березовый натуральный – полуфабрикат. Технические условия. – М.: Типография Госплана РСФСР, 1982. – 6 с.
15. ГОСТ 6687.4–86. Напитки безалкогольные, квасы и сиропы. Методы определения кислотности. – М.: Стандартиформ, 1986. – 7 с.
16. ГОСТ 32101–2013. Консервы. Продукция соковая. Соки фруктовые прямого отжима. Общие технические условия. – М.: Стандартиформ, 2019. – 14 с.
17. ГОСТ 6687.5–86. Продукция безалкогольной промышленности. Методы определения органолептических показателей и объема продукции. – М.: Стандартиформ, 1994. – 9 с.

18. *Химический состав российских пищевых продуктов: Справ. / Под ред. член-кор. МАИ, проф. И.М. Скурихина и академика РАН, проф. В. А. Тутельяна. – М., 2002. – 236 с.*
19. *ГОСТ Р 56543–2015. Напитки функциональные. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2019. – 8 с.*

REFERENCES

1. Fotev Yu.V., Pivovarov V.F., Artem'eva A.M. i dr., *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*, 2018, No. 22(7), pp. 776–783, DOI: 10.18699/VJ18.421. (In Russ.)
2. Gubanenko G.A., *Vestnik KrasGAU*, 2014, No. 1, pp. 182–186. (In Russ.)
3. Veretnova O.Yu., *Vestnik KrasGAU*, 2015, No. 6, pp. 154–158. (In Russ.)
4. Palagina M.V., Prikhod'ko Yu.V., *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy Pishchevaya tekhnologiya*, 2010, No. 4(316), pp. 24–26. (In Russ.)
5. Ling J., Jae G.H., Ji H.H. [et al.], Comparison of Antioxidant and Glutathione S-Transferase Activities of Extracts from Acer mono and A. Okamotoanum, *Korean J. Medicinal Crop Sci.*, 2008, Vol. 16(6), pp. 427–433.
6. Salgado-Garciglia R., Hernandez-Garcia A., Montiel-Montoy J. [et al.], Flavonoids quantification in Acer negundo L., extracts by hplc analysis, *Agro Productividad*, 2021, DOI: 10.32854/agrop.v14i7.1953.
7. Maisuria V.B., Hosseinidoust Z., Tufenkji N., Polyphenolic Extract from Maple Syrup Potentiates Antibiotic Susceptibility and Reduces Biofilm Formation of Pathogenic Bacteria, *Appl Environ Microbiol.*, 2015, Vol. 81(11), pp. 3782–3792, DOI: 10.1128/AEM.00239-15.
8. Zhang Y., Yuan T., Li L.Y. [et al.], Chemical Compositional, Biological, and Safety Studies of a Novel Maple Syrup Derived Extract for Nutraceutical Applications, *J Agric Food Chem.*, 2014, Vol. 62(28), pp. 6687–6698, DOI: 10.1021/jf501924y.
9. Fayzullina D.R., Krupskaya M.N., Gudkova E.P., *Fitoinvazii: ostanovit' nel'z'ya sdavat'sya* (Phytoinvasions: Stop, Don't Give Up), Proceedings of the Conference Title, Moscow, 2022, pp. 387–399. (In Russ.)
10. Richardson D.M., Pyšek P., Rejmánek M. [et al.], Naturalization and invasion of alien plants: concept and definition, *Diversity and distribution*, 2000, Vol. 6, pp. 93–107.
11. *Rastitel'noe mnogoobrazie Tsentral'nogo sibirskogo botanicheskogo sada SO RAN* (Plant diversity of the Central Siberian Botanical Garden SB RAS), Novosibirsk, 2014, 491p.
12. Alekseev V.A., *Lesovedenie*, 1989, No. 4, pp. 51–57. (In Russ.)
13. Ivanov N.A., *Elektronnoe nauchnoe izdanie «Uchenye zametki TOGU»*, Khabarovsk, 2016, pp. 90–98. (In Russ.)
14. *RST RSFSR 537–82. Sok berezovyy natural'nyy – polufabrikat. Tekhnicheskie usloviya*, Moscow: Tipografiya Gosplana RSFSR, 1982, 6 p. (In Russ.)
15. *GOST 6687.4–86. Napitki bezalkogol'nye, kvasy i siropy. Metody opredeleniya kislotnosti*, Moscow: Standartinform, 1986, 7 p. (In Russ.)
16. *GOST 32101–2013. Konservy. Produktsiya sokovaya. Soki fruktovye pryamogo otzhima. Obshchie tekhnicheskie usloviya*, Moscow: Standartinform, 2019, 14 p. (In Russ.)
17. *GOST 6687.5–86. Produktsiya bezalkogol'noy promyshlennosti. Metody opredeleniya organolepticheskikh pokazateley i ob'ema produktsii*, Moscow: Standartinform, 1994, 9 p. (In Russ.)
18. *Khimicheskii sostav rossiyskikh pishchevykh produktov* (Chemical composition of Russian food products), Pod red. chlen-kor. MAI, prof. I.M. Skurikhina i akademika RAMN, prof. V. A. Tutel'yana, Moscow, 2002, 236 p.
19. *GOST R 56543–2015. Napitki funktsional'nye. Obshchie tekhnicheskie usloviya*, Moscow: Standartinform, 2019, 8 p. (In Russ.)

Информация об авторах:

А.П. Беланова, кандидат биологических наук
 Н.Г. Ворожейкина, кандидат сельскохозяйственных наук
 Е.М. Лях, кандидат биологических наук
 С.Х. Вышегуров, доктор сельскохозяйственных наук
 Д.А. Иванова, аспирант

Contribution of the authors:

A.P. Belanova, PhD in Biology
 N.G. Vorozheykina, PhD in Agricultural Sciences
 E.M. Lyakh, PhD in Biology
 S.Kh. Vyshegurov, Doctor of Agricultural Sciences
 D.A. Ivanova, Postgraduate Student

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ ШТАММОВ БАКТЕРИЙ РОДА *BACILLUS* НА ЛИСТОСТЕБЛЕВЫЕ ИНФЕКЦИИ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ПЛОДОНОСЯЩЕЙ ЗЕМЛЯНИКИ

А.А. Беляев, А.А. Стороженко, Т.В. Шпатова

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: belyaev.an.ar@gmail.com

Для цитирования: Беляев А.А., Стороженко А.А., Шпатова Т.В. Влияние штаммов бактерий рода *Bacillus* на листостеблевые инфекции при выращивании плодоносящей земляники // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 12–19. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-12-19.

Ключевые слова: земляника, бактериальные штаммы, серая гниль, белая пятнистость, защитное действие, биологическая эффективность, продуктивность.

Реферат. В 2019–2021 гг. в полевых экспериментах доказано профилактическое действие обработки надземной части растений земляники в фенотазу начала налива плодов смесью штаммов бактерий рода *Bacillus* в жидкой форме (биопрепарат Фитоп 8.67) и сухой форме (Фитоп 8.1) в концентрациях 1×10^4 КОЕ/мл и 1×10^5 КОЕ/мл на распространенность серой гнили плодов. В среднем за три года наблюдений на фоне искусственной инокуляции распространенность серой гнили снижалась в 2,2–2,3 раза (в контроле 16,5 %), с биологической эффективностью 54–56 %; на естественном фоне – в 2,0–2,1 раза (в контроле 12,5 %), биологическая эффективность 51–53 %. Против белой пятнистости листьев (рамularioза) земляники на естественном инфекционном фоне в концентрациях биопрепаратов 1×10^4 КОЕ/мл и 1×10^5 КОЕ/мл биологическая эффективность в вариантах с обработкой Фитоп 8.67 составила 23–25 % и Фитоп 8.1 – 32–34 %. Снижение потерь урожая от серой гнили стимулировало увеличение урожайности на фоне искусственной инокуляции возбудителем серой гнили в вариантах с применением биопрепаратов Фитоп 8.67 и Фитоп 8.1 в концентрациях 1×10^4 КОЕ/мл и 1×10^5 КОЕ/мл до уровней 5,86–5,89 т/га, хозяйственная эффективность 11,0–11,4 %; на естественном фоне в тех же концентрациях – до уровней 5,67–5,68 т/га, хозяйственная эффективность 7,6–7,9 %. Применение концентраций 1×10^4 КОЕ/мл обоих препаратов Фитоп 8.67 и Фитоп 8.1 как альтернативных методов для защиты от серой гнили плодов и белой пятнистости листьев является перспективным в технологии выращивания плодоносящей земляники.

INFLUENCE OF *BACILLUS* BACTERIA STRAINS ON LEAF-STEM INFECTIONS IN CULTIVATION OF FRUIT-BEARING STRAWBERRIES

А.А. Belyaev, А.А. Storozhenko, Т.В. Shpatova

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: belyaev.an.ar@gmail.com

Keywords: strawberry, bacterial strains, gray mold, white spot, protective action, biological efficiency, productivity.

Abstract. In 2019–2021, field experiments proved the preventive effect of treating the aboveground parts of strawberry plants during the phenophase of the beginning of fruit filling with a mixture of *Bacillus* bacterial strains in liquid form (biopreparation Fitop 8.67) and dry form (Fitop 8.1) at concentrations of 1×10^4 CFU/ml and 1×10^5 CFU/ml on the prevalence of gray rot of fruits. On average, over 3 years of observations, against the background of artificial inoculation, the prevalence of gray rot decreased by 2.2–2.3 times (in the control 16.5 %), with a biological efficiency of 54–56 %; against a natural background – by 2.0–2.1 times (in the control 12.5 %), biological efficiency of 51–53 %. Against white leaf spot (ramularia) of strawberries on a natural infectious background in concentrations of biopreparations of 1×10^4 CFU/ml and 1×10^5 CFU/ml, the biological efficiency in variants with treatment with Fitop 8.67 was 23–25 % and Fitop 8.1 – 32–34 %. A decrease in yield losses from gray mold stimulated an increase in yield against the background of artificial inoculation with the pathogen of gray mold in variants using biopreparations Fitop 8.67 and Fitop 8.1 in concentrations of 1×10^4 CFU/ml and 1×10^5 CFU/ml to levels of 5.86–5.89 t/ha, economic efficiency of 11.0–11.4 %; against a natural background in the same concentrations – up to levels of 5.67–5.68 t/ha, economic efficiency of 7.6–7.9 %. The use of concentrations

of 1×10^4 CFU/ml of both preparations Fitop 8.67 and Fitop 8.1 as alternative methods for protection against gray rot of fruits and white spot of leaves is promising in the technology of growing fruit-bearing strawberries.

Наиболее распространенными инфекционными заболеваниями садовой земляники в Новосибирской области являются серая гниль плодов (возбудитель – гриб *Botrytis cinerea* Pers.) и белая пятнистость листьев (гриб *Ramularia tulasnei* Sacc.). Указанные заболевания встречаются регулярно на всех культурных насаждениях земляники, а также на дикорастущей землянике и клубнике. В годы с сырой погодой в период плодоношения прямые потери урожая от серой гнили на землянике могут достигать 50 %. Способствуют поражению плодов сырые, плохо проветриваемые участки плантаций, задержки в сборах урожая и перезревание ягод. Вредоносность белой пятнистости обусловлена поражением до 70–80 % листьев с отмиранием до половины листовой поверхности. Недобор урожая может достигать 15 %. Болезнь усиливается при ослабленном состоянии растений вследствие стрессов при недостатке питания или неравномерном увлажнении [1].

Другие инфекционные заболевания земляники (бурая пятнистость листьев, фитофторозная, питиозная, черная гнили плодов, мучнистая роса, фузариоз и вертициллез) встречаются в отдельные годы очагами и существенно уступают по масштабу проявления.

Фундаментальные защитные мероприятия (соблюдение агротехники, севооборота, выращивание районированных сортов, уничтожение сорняков) существенно снижают пораженность серой гнилью и белой пятнистостью. Однако в условиях обильного выпадения осадков в период сбора урожая задерживается уборка плодов, создаются благоприятные условия для развития болезней, в которых бывает необходимо применение оперативных защитных мер, прежде всего, против серой гнили плодов. К таким мероприятиям, рекомендованным на землянике [2], относятся опрыскивания биопрепаратами на основе штаммов *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, смесью штаммов *Bacillus subtilis* и *Trichoderma viride*, а также химическими фунгицидами на основе пенконазола, пропиконазола, хлорида полидиметилдиаллилалламмония, смеси флуопирама и пириметанила и смеси ципродинила и флудиоксонила. Опрыскивания химическими фунгицидами в основном рекомендованы до цветения и после уборки урожая в связи с периодом ожидания, равным 12–21 сут, в течение которого

трудно прогнозировать выпадение осадков в период сбора урожая. Применение биопрепаратов не ограничено сроками ожидания, в связи с чем возможно их внесение в фазу окончания роста, начала налива плодов. Известны мероприятия по обработке земляники биопрепаратами на основе *B. subtilis* в фазу налива плодов для защиты от серой гнили. В частности, биологическая эффективность Фитоспорина-М, Алирина-Б и Фитоп 1.68 против серой гнили плодов земляники составляла 60–90 % [3–6], биологическая эффективность Фитоспорина-М против белой пятнистости – 80–86 % [6].

Сведения о применении на землянике смешанных бактериальных препаратов на основе бактерий *Bacillus* в литературе отсутствуют. В наших более ранних исследованиях [7] доказано наличие защитного действия у смешанного биопрепарата на основе смеси штамма *B. subtilis* и двух штаммов *B. amyloliquefaciens* против серой гнили плодов ремонтантной малины с биологической эффективностью 40–60 %.

Цель исследования – оценка эффективности фитосанитарного действия опрыскивания концентрациями смесей штаммов бактерий рода *Bacillus* на плодоносящей плантации земляники.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены в 2019–2021 гг. на плодоносящих плантациях садовой земляники сельскохозяйственной артели (СХА) «Сады Сибири» Новосибирской области в подзоне дренированной лесостепи Приобья.

Объектами исследования являлись два смешанных экспериментальных бактериальных биопрепарата на основе биоагентов из коллекции культур ООО НПФ «Исследовательский центр» (научград Кольцово): Фитоп 8.67 – равнопропорциональная смесь штаммов *Bacillus subtilis* ВКПМ В-10641, *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 и *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10643, жидкая форма в исходной концентрации 1×10^9 КОЕ/мл; Фитоп 8.1 – равнопропорциональная смесь штаммов *B. subtilis* DSM 32424, *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10642 и *B. amyloliquefaciens* ВКПМ В-10643, сухая форма в исходной концентрации 1×10^8 КОЕ/г (усовершенствованный штамм *B. subtilis* DSM 32424 является аналогом штамма *B. subtilis* ВКПМ

В-10641); белая пятнистость (рамуляриоз) земляники (возбудитель гриб *Ramularia tulasnei* Sacc. (анаморфа) Ascomycota, Mycosphaerellales); серая гниль плодов земляники и её возбудитель (*Botrytis cinerea* Pers., Deuteromycota, Nuyphomycetales).

Погодные условия в 2019 г. характеризовались близким к норме температурным фоном, ГТК по Селянинову составил 1,1, в 2020 г. – повышенной температурой в течение вегетации, ГТК = 1,4, в 2021 г. – пониженной температурой, ГТК = 1,0. В опыте соблюдалась зональная технология выращивания плодоносящей промышленной плантации садовой земляники [8].

Полевые деляночные опыты по испытанию препаративной формы (жидкой, препарат Фитоп 8.67, и сухой, препарат Фитоп 8.1) и концентраций этих препаратов против грибных заболеваний надземной системы плодоносящей земляники в 2019–2021 гг. включали ежегодно семь вариантов: три варианта со смесевым препаратом Фитоп 8.67 в разных концентрациях, три варианта со смесевым препаратом Фитоп 8.1 и один контрольный вариант.

Схема опыта:

1. Контроль (без обработок).
2. Фитоп 8.67, в рабочей концентрации 1×10^3 КОЕ/мл.
3. Фитоп 8.67, 1×10^4 КОЕ/мл.
4. Фитоп 8.67, 1×10^5 КОЕ/мл.
5. Фитоп 8.1, в рабочей концентрации 1×10^3 КОЕ/мл.
6. Фитоп 8.1, 1×10^4 КОЕ/мл.
7. Фитоп 8.1, 1×10^5 КОЕ/мл.

Опыт закладывали ежегодно по одинаковой схеме на землянике сорта Юния Смайде, 2-летнего возраста, на площади 224 м². Делянка включала по 20 плодоносящих растений земляники, расположенных в двух соседних рядах на площади 4 м². Биоагенты наносили однократно ранцевым опрыскивателем в начале налива плодов – 3-я декада июня (за 5 сут до 1-го сбора урожая). Расход рабочей жидкости из расчета 500 л/га – 50 мл/м², 0,8 л на вариант.

Схема опыта полностью дублировалась на участке растений этого же сорта, расположенном на соседних рядах, где предварительно надземную систему растений земляники и поверхность почвы под ними опрыскивали суспензией спор возбудителя серой гнили *Botrytis cinerea* Pers. с плотностью (расходом) инокулюма $5,8–10,0 \times 10^7$ конидий/м² ($1,1–1,9 \times 10^7$ конидий/растение). Споры гриба *B. cinerea*, ранее выделенного из

пораженных плодов земляники, получали при выращивании на среде Чапека.

Оценку показателей фитосанитарного состояния и продуктивности растений делали по общепринятым в сортоизучении садовой земляники и защите растений методикам [9–11]. В статистической обработке данных использованы методы оценки достоверности различий между средними величинами с использованием многофакторного дисперсионного анализа [12] и пакета прикладных компьютерных программ SNEDECOR для Windows [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Внесение инокулюма фитопатогенного гриба возбудителя серой гнили (ботритиоза) плодов *B. cinerea* в вариантах с искусственной инокуляцией проведено 22 июня 2019 г., 25 июня 2020 г. и 20 июня 2021 г. Возбудителя наносили путем однократного опрыскивания суспензией конидий надземной системы растений сорта Юния смайде и поверхности почвы под ними в фенофазу завершения роста плодов – начала налива плодов. Обработки надземной системы растений разными концентрациями препаратов Фитоп 8.67 (жидкая форма) и Фитоп 8.1 (сухая форма) проведены в тот же день, вслед за внесением инокулюма фитопатогена. Первые зрелые плоды земляники сформировались в разные годы 25–30 июня. Учеты поражения серой гнилью плодов проведены в два срока, через 5 и 10 сут после внесения инокулюма фитопатогена и биоагентов, перед массовыми сборами урожая. На каждой делянке суммарно оценивали от 143 до 172 плодов.

Серая гниль плодов. На естественном инфекционном фоне, в среднем за три года, уровень распространенности серой гнили на плодах земляники составил 12,5 % (от 11,1 до 15,3 % плодов) (табл. 1). Действие препаратов Фитоп 8.67 и Фитоп 8.1 в концентрации 1×10^3 КОЕ/мл было существенно менее эффективно, биологическая эффективность (БЭ) составила 17,6–29,9 %, чем у средней (1×10^4 КОЕ/мл) и высокой (1×10^5 КОЕ/мл) концентраций данных препаратов (БЭ = 50,6–52,7 %). Распространенность болезни при опрыскивании средней и высокой концентрациями снижалась относительно контроля примерно в 2 раза, до уровня 5,9–6,2 %. Данные эффекты проявлялись стабильно по годам.

Среднегодовое влияние профилактической обработки надземной части растений земляники биопрепаратами в жидкой (Фитоп 8.67) и сухой (Фитоп 8.1) формах на распространенность серой гнили плодов в 2019–2021 гг.

Average long-term impact of preventive treatment of the above-ground part of strawberry plants with biopreparations in liquid (Fitop 8.67) and dry (Fitop 8.1) forms on the prevalence of gray rot of fruits in 2019–2021.

Фон	Варианты	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Средние за три года	БЭ, %
Фон искусственной инокуляции	Контроль	15,3	13,7	20,5	16,5	–
	Фитоп 8.67 Ж (1×10^3 КОЕ/мл)	11,8	11,4	14,3	12,5	24,1
	Фитоп 8.67 Ж (1×10^4 КОЕ/мл)	7,6	6,4	7,8	7,3	55,9
	Фитоп 8.67 Ж (1×10^5 КОЕ/мл)	7,3	7,3	8,1	7,6	54,0
	Фитоп 8.1 С (1×10^3 КОЕ/мл)	10,9	10,9	12,4	11,4	31,0
	Фитоп 8.1 С (1×10^4 КОЕ/мл)	7,2	7,2	8,0	7,5	54,8
	Фитоп 8.1 С (1×10^5 КОЕ/мл)	6,9	6,9	7,8	7,2	56,2
Естественный фон	Контроль	11,2	11,1	15,3	12,5	–
	Фитоп 8.67 Ж (1×10^3 КОЕ/мл)	9,4	9,3	12,3	10,3	17,6
	Фитоп 8.67 Ж (1×10^4 КОЕ/мл)	6,3	6,3	5,8	6,1	51,5
	Фитоп 8.67 Ж (1×10^5 КОЕ/мл)	5,6	6,2	5,9	5,9	52,7
	Фитоп 8.1 С (1×10^3 КОЕ/мл)	7,5	7,2	11,6	8,8	29,9
	Фитоп 8.1 С (1×10^4 КОЕ/мл)	5,7	6,7	6,2	6,2	50,6
	Фитоп 8.1 С (1×10^5 КОЕ/мл)	5,6	6,7	6,3	6,2	50,6
НСР ₀₅ по вариантам = 1,1 %; НСР ₀₅ по фонам = 0,6; НСР ₀₅ по годам = 0,7						

На фоне искусственной инокуляции посадок культурой возбудителя серой гнили уровень поражения контрольных растений возрастал в среднем за три года до 16,5 % от общего количества плодов (по отдельным годам – от 13,7 до 20,5 %). На данном фоне сохранились те же эффекты влияния биопрепаратов на болезнь, биопрепараты Фитоп 8.67 и Фитоп 8.1 в малой концентрации (1×10^3 КОЕ/мл) также оказывали лишь слабое (24,1–31,0 %) статистически достоверно более низкое по эффективности действие на заболевание в сравнении с более высокими концентрациями ($P < 0,05$). Средняя и высшая концентрации препаратов действовали примерно на одинаковом уровне эффективности, снижая уровень поражения плодов в 2,1–2,3 раза относительно контроля, до уровня 7,2–7,6 %. Биологическая эффективность средней и высшей концентраций обоих биоагентов составляла 54,0–56,2 %. Таким образом, для защиты от серой гнили плодов земляники достаточно применять среднюю концентрацию 1×10^4 КОЕ/мл препаратов Фитоп 8.67 и Фитоп 8.1.

Рамуляриоз листьев (белая пятнистость). Болезнь поражает преимущественно листья земляники (изредка цветоносы и черешки) и является самым обычным грибным заболеванием данной культуры, ежегодно присутствующим на всех посадках земляники, причем мицелий возбудителя сохраняется зимой, кроме пораженных растительных остатков, также на живых листьях растения-хозяина. Таким образом, определенный фон пораженности обнаруживается фактически на любом сорте земляники в течение всего периода вегетации. При достижении степени поражения 25–50 % данное заболевание может приводить к вредоносной потере части фотосинтезирующей листовой поверхности.

В среднем за три года исследования степень поражения контрольных растений составила 52,9 %, слабо варьируя по отдельным годам (51,0–55,2 %). В отношении рамуляриоза биопрепараты также проявляли слабую эффективность в малой концентрации (1×10^3 КОЕ/мл), биологическая эффективность составляла 6,3 и 8,1 % (табл. 2).

Таблица 2

Среднегодовое влияние профилактической обработки надземной части растений земляники биопрепаратами в жидкой (Фитоп 8.67) и сухой (Фитоп 8.1) формах на степень поражения листьев белой пятнистостью (рамуляриозом) в конце вегетации 2019–2021 гг.

Average long-term impact of preventive treatment of the above-ground part of strawberry plants with biopreparations in liquid (Fitop 8.67) and dry (Fitop 8.1) forms on the degree of leaf damage by white spot (ramularia) at the end of the growing season 2019–2021.

Вариант	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Средние за три года	Разность с контролем	БЭ, %
Контроль	52,4	55,2	51,0	52,9	-	-
Фитоп 8.67 Ж (1×10 ³ КОЕ/мл)	46,6	49,6	49,6	48,6	4,3	8,1
Фитоп 8.67 Ж (1×10 ⁴ КОЕ/мл)	39,0	40,8	39,0	39,6	13,3	25,1
Фитоп 8.67 Ж (1×10 ⁵ КОЕ/мл)	41,4	42,6	38,0	40,7	12,2	23,1
Фитоп 8.1 С (1×10 ³ КОЕ/мл)	49,0	52,0	47,6	49,5	3,3	6,3
Фитоп 8.1 С (1×10 ⁴ КОЕ/мл)	36,0	36,0	36,0	36,0	16,9	31,9
Фитоп 8.1 С (1×10 ⁵ КОЕ/мл)	33,8	37,0	34,0	34,9	17,9	33,9
НСР ₀₅ по вариантам = 1,2 %; НСР ₀₅ по годам = 0,8						

При повышении концентрации до средней и высокой снижении степени поражения белой пятнистостью у обоих препаратов происходило в 1,3 раза (Фитоп 8.67) и в 1,5 раза (Фитоп 8.1) – БЭ составила 23–34 %. При этом сухая форма Фитоп 8.1 статистически достоверно превосходила по эффективности жидкую форму препарат Фитоп 8.67 во все годы исследования ($P < 0,05$). Следует отметить слабое действие против рамуляриоза испытываемых концентраций обоих препаратов.

Урожайность земляники. Обработка надземной части растений земляники штаммами биоагентов, проведенная в фазу налива плодов, уже не могла оказать влияния на формирование основных элементов структуры урожая, в частности, на количество продуктивных растений на единице площади, количество сформированных растениями цветоносов и плодов и биомассу одного плода, продуктивность плодов одного растения, которые закладываются на предшествующих этапах развития растений (табл. 3).

Таблица 3

Структура урожая земляники на инфекционных фонах в фазу налива плодов в различные годы наблюдения (СХА «Сады Сибири», 3-я декада июня – 1 декада июля, 2019–2021 гг.)

Strawberry yield structure against infectious backgrounds in the fruit filling phase in different years of observation (SHA “Gardens of Siberia”, 3rd ten-day period of June - 1st ten-day period of July, 2019–2021)

Инфекционный фон	Год	Кол-во продуктивных растений на 1 га, растений/га	Кол-во цветоносов, цветоносов / растение	Кол-во плодов на одном растении, плодов /растение	Средняя биомасса одного плода, г/ плод	Продуктивность плодов с одного растения, г/растение
Фон искусственной инокуляции	2019	55556	4,4	15,5	6,4	100,0
	2020	55556	4,5	15,8	7,1	111,9
	2021	55556	4,2	15,9	8,2	130,9
Естественный фон	2019	55556	4,2	13,6	6,6	88,9
	2020	55556	4,3	14,5	7,4	107,0
	2021	55556	4,0	15,8	8,3	130,5
НСР ₀₅ по годам		–	0,2	0,8	0,3	6,1
НСР ₀₅ по фонам		–	0,2	0,7	0,3	5,0

Различия вариантов по урожайности под влиянием обработки биоагентами, таким образом, формировались вследствие разных уровней прямых потерь урожая от серой гнили, вызванных распространённостью болезни (табл. 4).

Анализ 3-летних данных по применению опрыскивания надземной системы растений земляники показывает, что урожайность земляники на естественном инфекционном фоне составляла в среднем 5,27 т/га (от 4,38 до 6,14 т/га по отдельным годам).

Таблица 4

Среднемноголетнее влияние профилактической обработки надземной части растений земляники биопрепаратами в жидкой (Фитоп 8.67) и сухой (Фитоп 8.1) формах на урожайность земляники в 2019–2021 гг. Average long-term impact of preventive treatment of the above-ground part of strawberry plants with biopreparations in liquid (Fitop 8.67) and dry (Fitop 8.1) forms on strawberry yield in 2019–2021.

Фон	Варианты	Урожайность, т/га				Средние потери урожая за три года, т/га	Хозяйственная эффективность, %
		2019 г.	2020 г.	2021 г.	средние за три года		
Фон искусственной инокуляции	Контроль	4,71	5,36	5,78	5,28	1,06	–
	Фитоп 8.67 Ж (1×10 ³ КОЕ/мл)	4,90	5,50	6,23	5,54	0,80	4,9
	Фитоп 8.67 Ж (1×10 ⁴ КОЕ/мл)	5,13	5,82	6,71	5,89	0,46	11,4
	Фитоп 8.67 Ж (1×10 ⁵ КОЕ/мл)	5,15	5,76	6,68	5,86	0,49	11,0
	Фитоп 8.1 С (1×10 ³ КОЕ/мл)	4,95	5,54	6,37	5,62	0,73	6,4
	Фитоп 8.1 С (1×10 ⁴ КОЕ/мл)	5,16	5,77	6,69	5,87	0,48	11,2
	Фитоп 8.1 С (1×10 ⁵ КОЕ/мл)	5,17	5,78	6,71	5,89	0,46	11,4
Естественный фон	Контроль	4,38	5,28	6,14	5,27	0,78	–
	Фитоп 8.67 Ж (1×10 ³ КОЕ/мл)	4,47	5,38	6,36	5,40	0,64	2,6
	Фитоп 8.67 Ж (1×10 ⁴ КОЕ/мл)	4,63	5,57	6,83	5,68	0,37	7,8
	Фитоп 8.67 Ж (1×10 ⁵ КОЕ/мл)	4,66	5,57	6,79	5,67	0,36	7,9
	Фитоп 8.1 С (1×10 ³ КОЕ/мл)	4,57	5,52	6,40	5,50	0,55	4,4
	Фитоп 8.1 С (1×10 ⁴ КОЕ/мл)	4,76	5,55	6,69	5,67	0,38	7,6
	Фитоп 8.1 С (1×10 ⁵ КОЕ/мл)	4,66	5,55	6,79	5,67	0,38	7,6
НСР ₀₅ по вариантам		0,06				–	–
НСР ₀₅ по годам		0,04				–	–
НСР ₀₅ по фонам		0,03				–	–

Наиболее эффективным было опрыскивание посадок средней и высокой концентрациями препаратов Фитоп 8.67 и Фитоп 8.1. В среднем за три года урожайность земляники в данных вариантах возрастала на 0,40–0,41 т/га без существенных различий между препаратами и их концентрациями. Хозяйственная эффективность у средней и высокой концентраций Фитоп 8.67 и Фитоп 8.1 достигала 7,6–7,9 %. Рациональным является применение средних концентраций обоих препаратов Фитоп 8.67 и Фитоп 8.1 для защиты от серой гнили плодов и белой пятнистости листьев земляники.

На фоне искусственной инокуляции возбудителем серой гнили плодов земляники урожайность составляла в среднем 5,28 т/га (от 4,71 до 5,78 т/га

по отдельным годам). Наиболее эффективным также было опрыскивание посадок средней и высокой концентрациями препаратов Фитоп 8.67 и Фитоп 8.1. В среднем за три года урожайность земляники возрастала на 0,58–0,61 т/га без существенных различий между данными концентрациями препаратов. Хозяйственная эффективность у средней и высокой концентраций достигала 11,0–11,4 %.

Полученный в опыте результат показывает наличие защитного действия обработки надземной системы земляники в период налива плодов препаратами Фитоп 8.67 (жидкая форма) и Фитоп 8.1 (сухая форма) в концентрации 1×10⁴ КОЕ/мл против серой гнили, приводящего к снижению потерь урожая от этой болезни, в том числе и на

фоне искусственной инокуляции. Впоследствии до конца вегетации данная обработка оказывает также слабое защитное действие против белой пятнистости листьев. Изменение концентрации рабочей суспензии обеих форм препаратов выше (или ниже) 1×10^4 КОЕ/мл является нецелесообразным. Применение биопрепаратов в фазу налива плодов земляники для профилактики серой гнили плодов имеет существенное технологическое значение, так как обработки химическими фунгицидами в эту фазу запрещены в связи с нарушением регламентов по периодам (срокам) ожидания.

ВЫВОДЫ

1. В полевых экспериментах в 2019–2021 гг. доказано профилактическое действие обработки надземной части растений земляники в фазу начала налива плодов смесью штаммов бактерий рода *Vacillus* в жидкой форме (биопрепарат Фитоп 8.67) и сухой форме (Фитоп 8.1) в концентрациях 1×10^4 КОЕ/мл и 1×10^5 КОЕ/мл на распространенность серой гнили плодов. В среднем за три года наблюдений на фоне искусственной инокуляции распространенность

серой гнили снижалась в 2,2–2,3 раза (в контроле 16,5 %), с биологической эффективностью 54–56 %; на естественном фоне – в 2,0–2,1 раза (в контроле 12,5 %), БЭ = 51–53 %.

2. Биологическая эффективность против белой пятнистости листьев (рамуляриоза) земляники на естественном инфекционном фоне в концентрациях биопрепаратов 1×10^4 КОЕ/мл и 1×10^5 КОЕ/мл в вариантах с обработкой Фитоп 8.67 составила 23–25 % и Фитоп 8.1 – 32–34 %.

3. Снижение потерь урожая от серой гнили стимулировало увеличение урожайности на фоне искусственной инокуляции возбудителем серой гнили в вариантах с применением биопрепаратов Фитоп 8.67 и Фитоп 8.1 в концентрациях 1×10^4 КОЕ/мл и 1×10^5 КОЕ/мл до уровней 5,86–5,89 т/га, хозяйственная эффективность 11,0–11,4 %; на естественном фоне в тех же концентрациях – до уровней 5,67–5,68 т/га, хозяйственная эффективность – 7,6–7,9 %.

4. Применение концентраций 1×10^4 КОЕ/мл обоих препаратов Фитоп 8.67 и Фитоп 8.1 как альтернативных методов для защиты от серой гнили плодов и белой пятнистости листьев является перспективным в технологии выращивания плодоносящей земляники.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Болезни и вредители садовых культур Новосибирской области: научно-практическое руководство по диагностике, профилактике и защитным мероприятиям* / А.А. Беляев, А.М. Белых, В.П. Цветкова [и др.] / СибНИИРС, НЗСС, НГАУ. – Новосибирск, 2013. – 128 с.
2. *Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Ч. I. Пестициды. Министерство сельского хозяйства РФ.* – М., 2023. – 945 с.
3. *Холод Н.А., Пузанова Л.А., Метлицкая К.В.* Современное фитосанитарное состояние насаждений земляники // *Плодоводство и ягодоводство России.* – 2012. – Т. 29, № 2. – С. 236–242.
4. *Влияние бактерий *Vacillus* spp. на возбудителя серой гнили земляники и устойчивость растения к болезни* / М.В. Штерншис, А.А. Беляев, Т.В. Шпатова, А.А. Леляк // *Сибирский экологический журнал.* – 2015. – № 3. – С. 478–485.
5. *Холод Н.А., Маслиенко Л.В.* Биологизированный контроль серой гнили земляники садовой в условиях усиления абиотического и антропогенного воздействий // *Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия.* – 2018. – Т. 14. – С. 179–183.
6. *Зейналов А.С.* Роль биологических и экологически безопасных средств в оптимизации фитосанитарной обстановки в насаждениях земляники садовой // *Российская сельскохозяйственная наука.* – 2021. – № 6. – С. 46–49.
7. *Профилактика микозов надземных органов ремонтантной малины с помощью бактериальных биоагентов* / А.А. Беляев, В.И. Лутов, Н.С. Чеченина [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет).* – 2020. – № 3. – С. 7–17.
8. *Стольников Н.П., Лутов В.И.* Промышленная культура земляники в Сибири: монография / НГАУ; НИИСС им. М.А. Лисавенко. – Новосибирск, 2009. – 207 с.
9. *Методика выявления и учета болезней плодовых и ягодных культур.* – М.: Колос, 1971. – 23 с.
10. *Чумаков А.Е., Захарова Т.И.* Вредоносность болезней сельскохозяйственных культур. – М.: Агропромиздат, 1990. – 127 с.
11. *Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур.* – Орел, 1999. – 606 с.
12. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований: учеб. для студ. высш. с.-х. учеб. завед. по агр. спец. – М., 2013. – 349 с.

13. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. – 2-е изд. – Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН, 2009. – 222 с.

REFERENCES

1. Beljaev A.A., Belyh A.M., Cvetkova V.P., Kuz'mina A.A., Ovchinnikova L.A., Shpatova T.V., *Bolezni i vrediteli sadovykh kul'tur Novosibirskoj oblasti* (Diseases and pests of garden crops in the Novosibirsk region), Novosibirsk, 2013, 128 p.
2. *Gosudarstvennyj katalog pesticidov i agrohimikatov, razreshennykh k primeneniju na territorii Rossijskoj Federacii. Part I. Pesticidy* (State catalog of pesticides and agrochemicals, approved for use on the territory of the Russian Federation. Part I. Pesticides), Ministerstvo sel'skogo hozjajstva RF, Moscow, 2023, 945 p. (In Russ.)
3. Holod N.A., Puzanova L.A., Metlickaja K.V., *Plodovodstvo i jagodovodstvo Rossii*, 2012, Vol. 29, No. 2, pp. 236–242. (In Russ.)
4. Shternshis M.V., Beljaev A.A., Shpatova T.V., Leljak A.A., *Sibirskij jekologicheskij zhurnal*, 2015, No. 3, pp. 478–485. (In Russ.)
5. Holod N.A., Maslienko L.V., *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo federal'nogo nauchnogo centra sadovodstva, vinogradarstva, vinodelija*, 2018, Vol. 14, pp. 179–183. (In Russ.)
6. Zejnalov A.S., *Rossijskaja sel'skohozjajstvennaja nauka*, 2021, No. 6, pp. 46–49. (In Russ.)
7. Beljaev A.A., Lutov V.I., Chechenina N.C., Kolokolov R.R., Leljak A.A., Leljak A.I., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2020, No. 3, pp. 7–17. (In Russ.)
8. Stol'nikova N.P., Lutov V.I., *Promyshlennaya kul'tura zemlyaniki v Sibiri* (Industrial culture of strawberries in Siberia), NGAU; NIIS im. M.A. Lisavenko, Novosibirsk, 2009, 207 p. (In Russ.)
9. *Metodika vyjavlenija i ucheta boleznej plodovykh i jagodnykh kul'tur* (Methodology for detecting and recording diseases of fruit and berry crops), Moscow: Kolos, 1971, 23 p. (In Russ.)
10. Chumakov A.E., Zaharova T.I., *Vredonosnost' boleznej sel'skohozjajstvennykh kul'tur* (Harmfulness of crop diseases), Moscow: Agropromizdat, 1990, 127 p. (In Russ.)
11. *Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur* (Program and methodology for variety study of fruit, berry and nut crops), Orel, 1999, 606 p. (In Russ.)
12. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul'tatov issledovanii)* (Field experience methodology: (with the basics of statistical processing of research results)), Moscow, 2013, 349 p. (In Russ.)
13. Sorokin O.D., *Prikladnaya statistika na komp'yutere* (Applied statistics on the computer), Krasnoobsk: GUP RPO SO RASKhN, 2009, 222 p. (In Russ.)

Информация об авторах:

А.А. Беляев, доктор сельскохозяйственных наук, доцент

А.А. Стороженко, аспирант

Т.В. Шпатова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Contribution of the authors:

A.A. Belyaev, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

A.A. Storozhenko, Postgraduate Student

T.V. Shpatova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ ФЕСТУЛОЛИУМА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОМ И УСЛОВИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ В ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

И.Л. Жданова, Н.И. Кашеваров

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, р.п. Краснообск, Россия

E-mail: zhdanovail@sfsca.ru

Для цитирования: Жданова И.Л., Кашеваров Н.И. Рост и развитие растений фестулолиума в зависимости от агротехнологических приемов и условий возделывания в лесостепи Западной Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 20–27. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-20-27.

Ключевые слова: фестулолиум, бинарные посева, зимостойкость, полевая всхожесть, сохранность растений.

Реферат. В статье представлены результаты исследований по изучению роста и развития фестулолиума в одновидовых и бинарных посевах с многолетними бобовыми травами (люцерной, клевером, эспарцетом) в условиях лесостепи Западной Сибири. Фестулолиум, как гибридная культура, сочетающая в себе устойчивость овсяницы и продуктивность райграса, продемонстрировал высокую адаптивность к суровым климатическим условиям региона. Установлено, что фестулолиум обладает высокой зимостойкостью (85–88 %) и устойчивостью к неблагоприятным условиям зимнего периода. Продолжительность вегетационного периода фестулолиума варьируется от 85 до 100 дней, с тенденцией к удлинению межфазных периодов с возрастом травостоя. В посевах с бобовыми травами наблюдается повышение зимостойкости и выживаемости растений.

Урожайность сухой массы фестулолиума без применения удобрений составляет 8,11 т/га. Удобрения обеспечивают рост урожайности на 16,8 %. Совместные посева культуры с эспарцетом и люцерной повышают урожайность на 42,8–63,4 %. Полученные данные свидетельствуют о перспективности использования фестулолиума в кормопроизводстве для создания устойчивой кормовой базы в регионе.

GROWTH AND DEVELOPMENT OF FESTULOLIUM PLANTS DEPENDING ON AGROTECHNOLOGICAL METHODS AND CULTIVATION CONDITIONS IN THE FOREST-STEPPE OF WESTERN SIBERIA

I.L. Zhdanova, N.I. Kashevarov

Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia

E-mail: zhdanovail@sfsca.ru

Keywords: festulolium, binary crops, winter hardiness, field germination, plant survival.

Abstract. The article presents the results of studies on the growth and development of festulolium in single-species and binary crops with perennial legumes (alfalfa, clover, sainfoin) in the forest-steppe conditions of Western Siberia. Festulolium, as a hybrid crop combining the resistance of fescue and the productivity of ryegrass, has demonstrated high adaptability to the harsh climatic conditions of the region. It has been established that festulolium has high winter hardiness (85–88 %) and resistance to adverse winter conditions. The duration of the vegetation period of festulolium varies from 85 to 100 days, with a tendency to lengthen the interphase periods with the age of the grass stand. In crops with legumes, an increase in winter hardiness and plant survival is observed. The dry mass yield of festulolium without fertilizers is 8.11 t/ha. Fertilizers provide a 16.8 % increase in yield. Joint sowing of the crop with sainfoin and alfalfa increases yield by 42.8–63.4 %. The obtained data indicate the prospects of using festulolium in forage production to create a sustainable forage base in the region.

Обеспечение продовольственной безопасности страны является одной из ключевых задач, решение которой невозможно без развития животноводства [1]. Важную роль в этом играет кор-

мпроизводство, особенно в регионах с жесткими климатическими условиями, таких как Западная Сибирь [2]. Фестулолиум (*X Festulolium* F. Aschers. et Graebn.), как гибридная культура, сочетающая

в себе устойчивость овсяницы и продуктивность райграса, представляет значительный интерес для кормопроизводства. Его преимущества перед традиционно выращиваемыми культурами, такими как кострец, овсяница и райграс, заключаются в высокой зимостойкости, способности к быстрому отрастанию после скашивания и повышенной питательности. Благодаря сочетанию этих качеств, он способен соответствовать высоким требованиям сельскохозяйственного производства и обеспечивать создание качественной кормовой базы [3–6]. Культура фестулолиума является новой для условий Западной Сибири, поэтому вопросы оптимизации агротехники фестулолиума в условиях лесостепи региона являются неизученными. Успешное возделывание этой культуры требует разработки адаптированных агротехнологий, учитывающих специфику региона [7]. Совместное выращивание фестулолиума и многолетних бобовых трав достаточно хорошо исследовано в европейской части России и за границей, результаты экспериментов подтверждают преимущества и перспективность таких агрокомбинаций [8–11]. Для условий Западной Сибири такие исследования являются новыми [12–15].

Исследования проводились в 2019–2023 гг. на опытном стационаре СибНИИ кормов СФНЦА РАН, расположенном в северной лесостепной зоне Западной Сибири. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднесуглинистый, с содержанием гумуса 4,30–6,58 % в слое 0–40 см. Реакция почвенного раствора (рН) – 7,4, сумма поглощенных оснований – 32,55–38,22 мг/экв на 100 г почвы.

Цель исследований – изучение влияния агротехнических приемов и условий возделывания на рост, развитие, полевую всхожесть, густоту стояния, зимостойкость и сохранность фестулолиума в лесостепной зоне Западной Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для посева в опытах использовали семена многолетних трав районированных в регионе сортов: фестулолиум (*X Festulolium F. Aschers. et Graebn.*) – Изумрудный (оригинатор ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН), люцерна изменчивая (*Medicago sativa L.*) – Вега 87 (оригинаторы: ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»; ГУП МО «Московская селекционная станция»), клевер луговой (*Trifolium pratense L.*) – СибНИИК 10 (оригинатор ФГБНУ СФНЦА РАН), эспарцет песчаный

(*Onobrychis Mill.*) – СибНИИК 30 (оригинатор ФГБНУ СФНЦА РАН). В процессе исследований провели две закладки полевых опытов во времени – в 2019 и 2020 гг.

Опыт включал в себя варианты:

1. Фестулолиум (одновидовой посев, контроль).
2. Люцерна (одновидовой посев).
3. Клевер луговой (одновидовой посев).
4. Эспарцет песчаный (одновидовой посев).
5. Фестулолиум 1 ряд + люцерна 3 ряда (совместный посев).
6. Фестулолиум + люцерна (смешанный посев).
7. Фестулолиум 1 ряд + клевер луговой 3 ряда (совместный посев).
8. Фестулолиум + клевер луговой (смешанный посев).
9. Фестулолиум 1 ряд + эспарцет песчаный 3 ряда (совместный посев).
10. Фестулолиум + эспарцет песчаный (смешанный посев).

Посев проводился во второй декаде июля. Нормы высева фестулолиума: 16 кг на 1 га, или 8 млн всхожих семян на 1 га в одновидовом посеве, в смеси при черезрядном посеве – 4 кг/га, или 2 млн всхожих семян на 1 га; в смешанном посеве – 8 кг/га, или 4 млн всхожих семян на 1 га. Нормы высева люцерны: 12 кг/га, или 6 млн всхожих семян на 1 га в одновидовом посеве, в смеси при черезрядном посеве – 9 кг/га, или 4,5 млн всхожих семян на 1 га; в смешанном посеве – 6 кг/га, или 3 млн всхожих семян на 1 га. Посев рядовой с междурядьем 15 см. Предшественник – пар. Весной в начале вегетации растений на отдельных фонах вносили азотные удобрения в дозе N30 и N60.

Фенологические наблюдения проводили по методике ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса (1986). Учет полевой всхожести семян, зимостойкости и сохранности растений проводили по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989). Расчет кормопротеиновой оценки эффективности проводили по методике А.И. Тютюнникова и М.Д. Фадеева (1984). Основной метод исследований — полевые опыты и лабораторные анализы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Продолжительность вегетационного периода фестулолиума в наших опытах составляла 85–100 дней, что свидетельствует о достаточно высокой

скороспелости культуры. Наблюдалось удлинение межфазных периодов с возрастом травостоя, что может быть связано с физиологическим старением растений и накоплением стрессовых факторов

(табл. 1). Фестулолиум занимает промежуточное положение между овсяницей (более медленное развитие) и райграсом (более быстрое развитие). Это подтверждает его гибридную природу.

Таблица 1

Продолжительность межфазных периодов фестулолиума (в среднем по закладкам 2019 и 2020 гг.)
Duration of interphase periods of festulolium (average for 2019 and 2020 bookmarks)

Год жизни травостоя	Число дней от посева (отрастания) до начала фазы						
	Всходы	1-й настоящий лист	Кущение	Выход в трубку	Выметывание	Цветение	Созревание семян
Первый	8–10	20–21	30–35				
Второй			30–35	65–68	68–73	70–75	85–90
Третий			40–45	70–75	77–80	82–85	93–100

Внесение азотных удобрений не оказывало влияния на сроки прохождения фенологических фаз.

Полевая всхожесть и густота стояния растений фестулолиума и бобовых культур существенно варьировали в зависимости от условий года и способа посева (табл. 2).

Таблица 2

Полевая всхожесть семян и густота всходов фестулолиума и бобовых трав
Field germination of seeds and seedling density of festulolium and legumes

Вариант	Фестулолиум			Бобовые травы		
	Закладка 2019 г.	Закладка 2020 г.	Среднее	Закладка 2019 г.	Закладка 2020 г.	Среднее
1	2	3	4	5	6	7
	<i>Густота всходов, шт./м²</i>					
Фестулолиум (одновидовой посев) – контроль	372	702	537	–	–	–
Люцерна (одновидовой посев)	–	–	–	156	28	92
Клевер (одновидовой посев)	–	–	–	166	112	139
Эспарцет (одновидовой посев)	–	–	–	31	148	90
Фестулолиум 1 ряд + люцерна 3 ряда (совместный посев)	164	181	173	203	74	139
Фестулолиум + люцерна (смешанный посев)	283	363	323	204	42	123
Фестулолиум 1 ряд + клевер 3 ряда (совместный посев)	165	171	168	300	122	211
Фестулолиум + клевер (смешанный посев)	296	380	338	292	98	195
Фестулолиум 1 ряд + эспарцет 3 ряда (совместный посев)	151	190	171	31	124	78
Фестулолиум + эспарцет (смешанный посев)	247	374	311	22	79	51
НСР ₀₅	13	13	12	10	9	8
	<i>Полевая всхожесть семян, %</i>					
Фестулолиум (одновидовой посев)	47	88	67	–	–	–
Люцерна (одновидовой посев)	–	–	–	26	5	16

1	2	3	4	5	6	7
Клевер (одновидовой посев)	–	–	–	28	19	24
Эспарцет (одновидовой посев)	–	–	–	5	25	15
Фестулолиум 1 ряд + люцерна 3 ряда (совместный посев)	82	90	86	45	16	30
Фестулолиум + люцерна (смешанный посев)	71	91	81	68	14	41
Фестулолиум 1 ряд + клевер 3 ряда (совместный посев)	82	86	84	67	27	47
Фестулолиум + клевер (смешанный посев)	74	95	84	97	33	65
Фестулолиум 1 ряд + эспарцет 3 ряда (совместный посев)	76	95	86	7	28	17
Фестулолиум + эспарцет (смешанный посев)	62	94	78	7	26	16

Полевая всхожесть фестулолиума в 2019 г. составила 47 %, густота всходов – 372 шт./м². В 2020 г. всхожесть – 88 %, густота всходов – 702 шт./м². Это свидетельствует о высокой адаптивности фестулолиума к изменчивым погодным условиям. В среднем по двум закладкам опыта совместные посевы фестулолиума демонстрируют хорошую всхожесть и густоту стояния в сочетании с клевером луговым (густота всходов – 173 шт./м², всхожесть – 84 %), люцерной изменчивой (густота всходов – 168 шт./м², всхожесть – 86 %) и эспарцетом песчаным (густота всходов – 171 шт./м², всхожесть – 86 %). Это

подтверждает преимущество бинарных посевов для повышения устойчивости травостоя.

Зимостойкость фестулолиума составила 86–88 %, что выше, чем у бобовых культур (табл. 3). Это связано с его гибридной природой, унаследованной от овсяницы, которая известна своей устойчивостью к низким температурам. Люцерна и клевер показали зимостойкость на уровне 53–81 %, а эспарцет – 67–86 %. В смешанных посевах зимостойкость фестулолиума остается высокой (86–87 %). Это подтверждает, что совместные посевы улучшают устойчивость травостоя к зимним условиям.

Таблица 3

**Зимостойкость растений фестулолиума и бобовых культур (среднее по закладкам 2019 и 2020 гг.)
Winter hardiness of festulolium and legume plants (average for 2019 and 2020 plantings)**

Вариант	Густота стояния растений, шт./м ²				Зимостойкость, %	
	Перед уходом в зиму		После перезимовки		Злак	Бобовые
	Злак	Бобовые	Злак	Бобовые		
1	2	3	4	5	6	7
Фестулолиум (одновидовой посев) – контроль	523	–	450	–	86	–
Люцерна (одновидовой посев)	–	83	–	55	–	66
Клевер (одновидовой посев)	–	123	–	78	–	63
Эспарцет (одновидовой посев)	–	80	–	69	–	86
Фестулолиум 1 ряд + люцерна 3 ряда (совместный посев)	167	124	143	87	86	70
Фестулолиум + люцерна (смешанный посев)	308	104	266	55	86	53
Фестулолиум 1 ряд + клевер 3 ряда (совместный посев)	162	198	143	160	88	81

1	2	3	4	5	6	7
Фестулолиум + клевер (смешанный посев)	329	183	286	145	87	79
Фестулолиум 1 ряд + эспарцет 3 ряда (совместный посев)	163	70	140	53	86	76
Фестулолиум + эспарцет (смешанный посев)	299	45	261	30	87	67
НСР ₀₅	12	6	6	7		

Сохранность растений фестулолиума достигала 95–97 %, что свидетельствует о его высокой устойчивости к неблагоприятным условиям зим-

него периода (табл. 4). У бобовых культур сохранность была ниже: люцерна – 81 %, клевер – 89 %, эспарцет – 81 %, но все же на приемлемом уровне.

Таблица 4

Сохранность растений фестулолиума и бобовых культур (среднее по закладкам 2019 и 2020 гг.)
Preservation of festulolium and legume plants (average for 2019 and 2020 plantings)

Вариант	Сохранность, %		Выживаемость, %	
	Злак	Бобовые	Злак	Бобовые
Фестулолиум (одновидовой посев) – контроль	97	–	84	–
Люцерна (одновидовой посев)	–	81	–	61
Клевер (одновидовой посев)	–	89	–	59
Эспарцет (одновидовой посев)	–	81	–	60
Фестулолиум 1 ряд + люцерна 3 ряда (совместный посев)	97	85	82	65
Фестулолиум + люцерна (смешанный посев)	96	74	83	46
Фестулолиум 1 ряд + клевер 3 ряда (совместный посев)	97	92	84	76
Фестулолиум + клевер (смешанный посев)	97	92	85	75
Фестулолиум 1 ряд + эспарцет 3 ряда (совместный посев)	95	83	82	66
Фестулолиум + эспарцет (смешанный посев)	96	83	84	52

Урожайность абсолютно сухой массы фестулолиума в среднем по закладкам 2019 и 2020 г. составила 8,11 т/га без применения удобрений. При внесении N₃₀ и N₆₀ она повысилась до 8,15–9,47 т/га. Совместный посев фестулолиума с люцерной (1 : 3) обеспечил урожайность 11,13 т/га. При этом внесение азота не оказало положительного эффекта. Совместные и смешанные посевы фестулолиума с эспарцетом сформировали наивысшую урожайность при внесении удобрений в дозе N₆₀ – 10,42–11,55 т/га.

Наиболее полноценными по химическому составу и питательной ценности являются корма из трав. Поэтому их целесообразно скармливать в достаточном количестве в летний период на пастбищах, зимой в виде сенажа, сена, силоса из провяленных трав. Травостои, созданные без внесения удобрений на основе фестулолиума и бобовых трав, характеризовались, как правило, хорошим качеством корма и высокой его питательностью (табл. 5).

Таблица 5

Содержание питательных веществ в зеленой массе растений фестулолиума и бобовых культур (среднее по закладкам 2019 и 2020 гг.), %

Nutrient content in the green mass of festulolium plants and legumes (average for 2019 and 2020 plantings), %

Вариант	Сырой протеин	Сырой жир	Сырая клетчатка	БЭВ	Сырая зола
Фестулолиум (одновидовой посев) – контроль	10,0	1,8	38,3	42,0	7,9
Люцерна (одновидовой посев)	11,0	1,9	35,7	41,1	10,3
Клевер (одновидовой посев)	14,0	1,8	26,6	47,2	10,4
Эспарцет (одновидовой посев)	13,5	1,7	36,7	40,7	7,4
Фестулолиум 1 ряд + люцерна 3 ряда	9,6	2,2	32,3	47,4	8,5
Фестулолиум + люцерна (смешанный посев)	12,0	2,2	32,6	44,2	9,0
Фестулолиум 1 ряд + клевер 3 ряда	11,1	2,3	29,7	48,0	8,9
Фестулолиум + клевер (смешанный посев)	11,2	1,9	31,6	47,0	8,3
Фестулолиум 1 ряд + эспарцет 3 ряда	12,1	1,7	31,9	47,1	7,2
Фестулолиум + эспарцет (смешанный посев)	11,2	1,9	31,7	47,0	8,2

Одним из важных критериев оценки качества кормов является их энергетическая насыщенность. В наших исследованиях (табл. 6) в 1 кг абсолютно сухого вещества фестулолиума содержалось 0,61 к. ед. с обеспеченностью переваримым протеином 53,4 г/к. ед. Совместное возделывание

фестулолиума с люцерной и эспарцетом обеспечивали повышение содержания переваримого протеина на кормовую единицу на 42,8–63,4 % соответственно. В табл. 6 представлены средние показатели за 2019 и 2020 гг.

Таблица 6

Кормовая ценность и энергетическая насыщенность зеленой массы одновидовых, совместных и смешанных посевов фестулолиума с многолетними бобовыми травами, % на абсолютно сухое вещество
Feed value and energy saturation of green mass of single-species, joint and mixed crops of festulolium with perennial legumes, % of absolutely dry matter

Вариант	Кормовые единицы, кг а.с.в.	Обменная энергия, МДж/кг	Переваримый протеин, г/к. ед.
Фестулолиум (одновидовой посев) – контроль	0,61	8,20	53,40
Люцерна (одновидовой посев)	0,64	7,95	113,89
Клевер (одновидовой посев)	0,67	8,94	91,91
Эспарцет (одновидовой посев)	0,67	8,01	100,23
Фестулолиум 1 ряд + люцерна 3 ряда (совместный посев)	0,64	7,83	87,27
Фестулолиум + люцерна (смешанный посев)	0,63	7,87	84,61
Фестулолиум 1 ряд + клевер 3 ряда (совместный посев)	0,61	8,02	83,76
Фестулолиум + клевер (смешанный посев)	0,62	8,02	67,86
Фестулолиум 1 ряд + эспарцет 3 ряда (совместный посев)	0,60	8,02	76,23
Фестулолиум + эспарцет (смешанный посев)	0,62	7,94	74,87

ВЫВОДЫ

1. Исследования показали, что в условиях лесостепи Западной Сибири новая кормовая

культура фестулолиум является перспективной культурой, обладает высокой адаптивностью, что подтверждается его высокой полевой всхожестью, зимостойкостью и сохранностью.

2. Значительные колебания показателей всхожести в 2019 и 2020 гг. свидетельствуют о высокой зависимости результатов от погодных условий. Это подчеркивает необходимость разработки зональных адаптивных агротехнологий возделывания культуры.

3. Возделывание фестулолиума с бобовыми культурами улучшает показатели роста, развития, урожайности и белковой насыщенности посевов. Такие травостой являются перспективными для внедрения в сельскохозяйственное производство и могут значительно повысить устойчивость и продуктивность агроценоза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Косолапов В.М., Трофимов И.А., Трофимова Л.С. Кормопроизводство – стратегическое направление в обеспечении продовольственной безопасности России. Теория и практика. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 200 с. – EDN QLANGJ.
2. Кашевараев Н.И., Сапрыкин В.С. К вопросу о развитии кормопроизводства в Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – № 5. – С. 49–57. – EDN IOUEPN.
3. Безгодков А.В., Беляев А.В., Пономарёв А.Б. Новые виды и сорта многолетних злаковых трав на Среднем Урале для сенокосного и пастбищного использования // Инновационные технологии в науке и образовании. – 2016. – № 4(8). – С. 199–207. – EDN: WCMWWJ.
4. Лукиных Г.Л. Отдаленная гибридизация в селекции многолетних злаковых трав // Вестник КрасГАУ. – 2007. – № 2. – С. 86–94. – EDN: HZCCGH.
5. Akgun I., Tosun M., Sengul S. Comparison of agronomic characters of Festulolium, Festuca pratensis Huds. and Lolium multiflorum Lam. genotypes under high elevation conditions in Turkey // Bangladesh journal of botany. – 2008. – Vol. 37(1). – P. 1–6. – DOI: 10.3329/bjb.v37i1.1556.
6. Platea R., Adamovics A. Ligning and ash content correlations in grass biomass pellets // 14th International Multidisciplinary Scientific Geoconference: Albena, Bulgaria: Bulgarian Acad Sci. – 2014. – P. 331–338.
7. Кашевараев Н.И., Садохина Т.А. Перспективы использования фестулолиума в кормопроизводстве Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2018. – Т. 48, № 6. – С. 56–62. – DOI: 10.26898/0370-8799-2018-6-8. – EDN: YTORPV.
8. Безгодков А.В., Галимов К.А., Ахметханов В.Ф. Биологическая эффективность и конкурентная способность вики посевной яровой при выращивании в смеси с рапсом на семена и зернофураж // Аграрный вестник Урала. – 2020. – № 12(203). – С. 2–14. – DOI: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-2-14.
9. Образцов В.Н., Щедрина Д.И., Кадыров С.В. Фестулолиум в травосмесях с бобовыми травами // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 14, № 3(70). – С. 70–76. – DOI: 10.53914/issn2071-2243_2021_3_70.
10. Эседуллаев С.Т. Фотосинтетическая деятельность смешанных посевов трав, их продуктивность и влияние на плодородие дерново-подзолистой почвы в условиях Верхневолжья // Адаптивное кормопроизводство. – 2021. – № 1. – С. 33–45. – DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2021-133-45.
11. Образцов В.Н., Щедрина Д.И., Кондратов В.В. Приемы выращивания фестулолиума на семена в лесостепи Центрального Черноземья // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3. – С. 57–64. – DOI: 10.17238/issn2071-2243.2016.3.57.
12. Кашевараев Н.И., Бакшаев Д.Ю., Жданова И.Л. Оценка эффективности смесей фестулолиума с люцерной в лесостепи приобья (Западная Сибирь) // Адаптивное кормопроизводство. – 2024. – № 1. – С. 73–84. – DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2024-1-73-84.
13. Бакшаев Д.Ю., Кашевараев Н.И., Жданова И.Л. Возделывание фестулолиума в смеси с люцерной на кормовые цели в лесостепи Западной Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 1(66). – С. 12–20. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-12-20.
14. Кашевараев Н.И., Бакшаев Д.Ю., Жданова И.Л. Эффективность совместного возделывания фестулолиума с эспарцетом на кормовые цели в лесостепи Западной Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2024. – № 4. – С. 51–59. – DOI: 10.26898/0370-8799-2024-4-6.
15. Бакшаев Д.Ю. Эффективность и конкурентная способность фестулолиума в смеси с люцерной при выращивании на корм // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2023. – № 1. – С. 36–44. – DOI: 10.26898/0370-8799-2023-1-5.

REFERENCES

1. Kosolapov V.M., Trofimov I.A., Trofimova L.S. *Kormoproizvodstvo - strategicheskoe napravlenie v obespechenii prodovol'stvennoi bezopasnosti Rossii. Teoriya i praktika* (Feed production is a strategic direction in ensuring Russia's

- food security. Theory and practice Feed production is a strategic direction in ensuring Russia's food security. Theory and practice), Moscow: FGNU «Rosinformagrotekh», 2009, 200 p., EDN QLAHGJ.
2. Kashevarov N.I., *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2008, No. 5, pp. 49–57, EDN IOUEPN. (In Russ.)
 3. Bezgodov A.V., Belyaev A.V., Ponomarev A.B., *Innovatsionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii*, 2016, No. 4 (8), pp. 199–20, EDN: WCMWWJ. (In Russ.)
 4. Lukinykh G.L., *Vestnik KrasGAU*, 2007, No. 2, pp. 86–94, EDN: HZCCGH. (In Russ.)
 5. Akgun I., Tosun M., Sengul S., Comparison of agronomic characters of *Festulolium*, *Festuca pratensis* Huds. and *Lolium multiflorum* Lam. genotypes under high elevation conditions in Turkey, *Bangladesh journal of botany*, 2008, Vol. 37(1), pp. 1–6, DOI: 10.3329/bjb.v37i1.1556.
 6. Platea R., Adamovics A., Ligning and ash content correlations in grass biomass pellets, *14th International Multidisciplinary Scientific Geoconference: Albena*, Bulgaria: Bulgarian Acad Sci., 2014, pp. 331–338.
 7. Kashevarov N.I., Sadokhina T.A., *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2018, Vol. 48, No. 6, pp. 56–62, DOI: 10.26898/0370-8799-2018-6-8, EDN: YTORPV. (In Russ.)
 8. Bezgodov A.V., Galimov K.A., Akhmetkhanov V.F., *Agrarnyi vestnik Urala*, 2020, No. 12(203), pp. 2–14, DOI: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-2-14. (In Russ.)
 9. Obraztsov V.N., Shchedrina D.I., Kadyrov S.V., *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, Vol. 14, No. 3(70), pp. 70–76, DOI: 10.53914/issn2071-2243_2021_3_70. (In Russ.)
 10. Esedullaev S.T., *Adaptivnoe kormoproizvodstvo*, 2021, No. 1, pp. 33–45, DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2021-133-45. (In Russ.)
 11. Obraztsov V.N., Shchedrina D.I., Kondratov V.V., *Vestnik VGAU*, 2016, No. 3, pp. 57–64, DOI: 10.17238/issn2071-2243.2016.3.57. (In Russ.)
 12. Kashevarov N.I., Bakshaev D.Yu., Zhdanova I.L., *Adaptivnoe kormoproizvodstvo*, 2024, No. 1, pp. 73–84, DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2024-1-73-84. (In Russ.)
 13. Bakshaev D.Yu., Kashevarov N.I., Zhdanova I.L., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2023, No. 1(66), pp. 12–20, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-12-20. (In Russ.)
 14. Kashevarov N.I., Bakshaev D.Yu., Zhdanova I.L., *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2024, No. 4, pp. 51–59, DOI: 10.26898/0370-8799-2024-4-6. (In Russ.)
 15. Bakshaev D.Yu., *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2023, No. 1, pp. 36–44, DOI: 10.26898/0370-8799-2023-1-5. (In Russ.)

Информация об авторах:

И.Л. Жданова, младший научный сотрудник

Н.И. Кашеваров, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН

Contribution of the authors:

I.L. Zhdanova, Junior Researcher

N.I. Kashevarov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

УРОЖАЙНОСТЬ СЕМЯН ЛЮЦЕРНЫ ИЗМЕНЧИВОЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИЕМОВ ПОСЕВА В СРЕДНЕМ ПРЕДУРАЛЬЕ

Н.И. Касаткина, Ж.С. Нелюбина

Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Ижевск, Россия

E-mail: ugniish-nauka@yandex.ru

Для цитирования: Касаткина Н.И., Нелюбина Ж.С. Урожайность семян люцерны изменчивой в зависимости от приемов посева в Среднем Предуралье // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 28–35. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-75-2-28-35.

Ключевые слова: люцерна изменчивая, покровная культура, способ посева, структура урожайности, посевные качества.

Реферат. Целью исследований являлось изучение влияния приемов посева (покровная культура, способ посева) люцерны изменчивой Виктория на ее семенную продуктивность в Среднем Предуралье. Исследования проведены в 2019–2023 гг. на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Удмуртской Республики. Метеорологические условия вегетационных периодов в годы исследований были контрастными. Отрастание люцерны было отмечено в среднем во 2–3-й декаде апреля, уборку на семена проводили в 1–2-й декаде сентября, вегетационный период длился 124–142 дня. За четыре года пользования травостоем выявлено, что люцерна изменчивая формирует семенную продуктивность на достаточно высоком уровне: в 1 г.п. – 570–759 кг/га, в последующие годы – 234–309 кг/га. В среднем наибольшая урожайность семян была получена при посеве широкорядным (60 см) способом в вариантах с покровными культурами яровая пшеница (360 кг/га) и викоовсяная смесь на зеленую массу (359 кг/га) при формировании следующих элементов структуры: количество генеративных побегов – 238 и 279 шт./м², количество кистей на побеге – 16,0 и 15,5 шт., бобиков на кисти – 6,9 и 7,9 шт., семян в бобике – 3,3 и 2,8 шт., масса 1000 семян – 1,94 и 1,96 г соответственно. На уровень урожайности среднее положительное влияние оказывали количество кистей на побеге ($r = 0,47$) и количество бобиков на кисти ($r = 0,53$). Лабораторная всхожесть семян в урожае находилась на уровне 77–90 %, относительно наибольшей 90%-я всхожесть была на широкорядных посевах с междурядьями 60 и 30 см в варианте с викоовсяной смесью. При возделывании люцерны на семенные цели наиболее энергетически выгодно (коэффициент энергетической эффективности – 5,65) использование в качестве покровной культуры викоовсяной смеси; экономически (уровень рентабельности – 556 %) – беспокровный посев.

VARIEGATED ALFALFA SEED YIELD DEPENDING ON SOWING METHODS IN THE CIS-MIDDLE URALS

N.I. Kasatkina, Zh.S. Nelyubina

Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

E-mail: ugniish-nauka@yandex.ru

Keywords: variegated alfalfa, cover culture, method of sowing, yield structure, sowing qualities.

Abstract. The aim of the research was to study the influence of sowing methods (cover crop, sowing method) of variegated alfalfa Victoria on its seed productivity in the Cis-Middle Urals. The research was conducted in 2019–2023 on sod-podzolic medium loamy soil of the Udmurt Republic. Meteorological conditions of the growing seasons during the research years were contrasting. The regrowth of alfalfa was noted on average in the 2nd-3rd decade of April, harvesting for seeds was carried out in the 1st-2nd decade of September, the vegetation period lasted 124–142 days. Over four years of using the grass stand, it was found that variable alfalfa forms seed productivity at a fairly high level: in the first year of use – 570-759 kg/ha, in subsequent years – 234–309 kg/ha. On average, the highest seed yield was obtained when sowing in wide rows (60 cm) in variants with cover crops of spring wheat (360 kg/ha) and vetch-oat mixture for green mass (359 kg/ha), with the formation of the following structural elements: the number of generative shoots - 238 and 279 pcs/m², the number of brushes on a shoot – 16.0 and 15.5 pcs, pods on a brush – 6.9 and 7.9 pcs, seeds in a pod – 3.3 and 2.8 pcs, the weight of 1000 seeds is 1.94 and 1.96 g, respectively. The number of brushes on a shoot and the number of pods on a brush had an

average positive effect on the yield level, correlation coefficients $r=0.47$ and $r=0.53$, respectively. Laboratory seed germination in the harvest was at the level of 77–90 %. Relatively the highest germination (90 %) was in wide-row sowings with row spacing of 60 and 30 cm in the variant with a vetch-oat mixture. When cultivating alfalfa for seed purposes, the most energy-efficient method is to use a vetch-oat mixture as a cover crop (energy efficiency coefficient – 5.65); coverless sowing is economically advantageous (profitability level – 556 %).

В последние годы в полевом травосеянии в Среднем Предуралье наиболее широко используется люцерна изменчивая, где ее посевы в чистом виде и травосмесях составляют около 25 % укосной площади многолетних трав [1–4]. Для успешного возделывания этой культуры в данном регионе требуется ежегодно не менее 5 тыс. т семян. Однако возможные объемы производства семян в лесостепных районах зоны не превышают 2 тыс. т, фактическая урожайность составляет около 100 кг/га при $C_v = 20\text{--}24\%$ [2]. Следует отметить, что практически в каждой зоне люцерносеяния имеются большие резервы повышения урожайности семян люцерны за счет освоения комплекса агротехнических мероприятий по созданию семенных травостоев, ухода за ними, улучшению условий для размножения и работы насекомых-опылителей, качественной уборки выращенного урожая [5]. Современные отечественные районированные сорта многолетних бобовых трав, в том числе и люцерны, при благоприятных условиях выращивания способны формировать биологическую урожайность семян до 300–600 кг/га [6–9]. Главное условие реализации их потенциальных возможностей по семенной продуктивности — освоение в производстве эффективных, экологически безопасных технологий выращивания семян, основанных на достижениях науки и передовой практики. Основой внедрения современных технологий производства семян многолетних трав является закладка специальных одновидовых семенных травостоев [10–13].

Цель исследований – изучить влияние приемов посева (покровная культура, способ посева) люцерны изменчивой Виктория на ее семенную продуктивность в Среднем Предуралье.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований являлась люцерна изменчивая Виктория селекции Уральского фе-

дерального аграрного научно-исследовательского центра (УрФАНИЦ). Исследования проводили в 2019–2023 гг. на опытном поле Удмуртского НИИСХ – филиала УдмФИЦ УрО РАН, расположенном в лесолуговой зоне Удмуртской Республики. Изучали покровную культуру (фактор А): без покрова (к); яровая пшеница; ячмень; викоовсяная смесь на зеленый корм; способы посева (фактор В): широкорядный 60 см (норма высева – 2,0 млн шт./га) (к); широкорядный 30 см (норма высева – 3,0 млн шт./га); обычный рядовой 15 см (норма высева – 4,0 млн шт./га). Повторность вариантов в опыте – 4-кратная, расположение – методом расщепленных делянок. Общая площадь делянки – 30 м², учетная – 20 м². Посев люцерны и покровных культур проведен в 2019 г. сеялкой СН-16, норма высева покровных культур снижена на 30 % от рекомендуемой.

При проведении исследований использовали общепринятые методические указания^{1,2}. На травостое люцерны первого – четвертого года пользования (1–4 г.п.) после схода снега проводили боронование, подкормку минеральными удобрениями (нитроаммофоска в дозе 187 кг/га). Учет семенной продуктивности осуществляли при побурении 85–90 % бобиков люцерны. Почва опытного участка дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая нейтральная ($pH_{KCl} - 6,13$), с низким содержанием гумуса (2,2 %), очень высоким – подвижного фосфора (346 мг на 1 кг почвы), средним содержанием обменного калия (101 мг на 1 кг почвы). Метеоусловия в годы проведения исследований отличались контрастностью: 2023 г. – значительно засушливый (ГТК – 0,63), 2021 и 2022 гг. – засушливые (ГТК – 0,78 и 0,91), 2020 г. – незначительно засушливый (ГТК – 1,04) и 2019 г. – переувлажненный (ГТК – 1,73). Существенность разницы в показаниях между вариантами определяли методом дисперсионного анализа, тесноту и форму связи – методом корреляционно-регрессионного анализа³.

¹Агротехника возделывания сортов люцерны селекции ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса на семенные и кормовые цели / Ю.М. Писковацкий, В.М. Косолапов, В.Е. Михалев [и др.]. – М.: ФГУ РЦСК, 2008. – 39 с.

²Агротехника возделывания сортов люцерны селекции ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса на семенные и кормовые цели / Ю.М. Писковацкий, В.М. Косолапов, В.Е. Михалев [и др.]. – М.: ФГУ РЦСК, 2008. – 39 с.

³Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): Учеб. для студ. высш. с.-х. учеб. заведений по агр. специальностям. – М.: Колос, 1985. – 416 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В 2020–2023 гг. исследований отрастание люцерны изменчивой Виктория было отмечено в среднем во 2–3-й декаде апреля, самое позднее – 20 мая в 2022 г. Уборку на семена проводили в период с 31 августа до 20 сентября (в 2022 г. – 10 октября), вегетационный период длился 124–142 дня.

Семенная продуктивность люцерны 1 г.п. в незначительнозасушливых условиях 2020 г. была на уровне 570–759 кг/га, во 2 г.п. в засушливых условиях 2021 г. составила 234–309 кг/га. В 3 г.п. (2022 г.) вегетационный период в целом характеризовался как засушливый, но первая половина вегетации проходила в неблагоприятных условиях с ГТК в мае – 1,57, в июне – 2,33. В связи с этим семенная продуктивность люцерны снизилась до 61–75 кг/га (табл. 1).

Таблица 1

Урожайность семян люцерны изменчивой Виктория в зависимости от покровной культуры и способа посева, кг/га, в среднем за 2020–2023 гг.
The yield of variable Victoria alfalfa seeds, depending on the cover crop and the method of sowing, kg/ha, on average for 2020–2023

Покровная культура (А)	Способ посева (В)			Среднее (А)
	Ширококорядный (60 см) контроль	Ширококорядный (30 см)	Обычный рядовой (15 см)	
Без покрова (к)	332	286	296	305
Яровая пшеница	360	283	337	327
Ячмень	353	325	285	321
Викоовсяная смесь	359	388	330	359
Среднее (В)	351	321	312	
НСР ₀₅	Главных эффектов		Частных различий	
А	11		19	
В	7		15	

В 4 г.п. (2023 г.) вегетационный период можно охарактеризовать как значительно засушливый, урожайность 243–304 кг/га была на достаточно высоком уровне. В среднем за четыре года пользования травостоем при посеве люцерны под покров урожайность семян 321–359 кг/га была существенно выше урожайности в контрольном варианте с беспокровным посевом. Ширококорядный способ посева с междурядьем 60 см (контроль) также обеспечил существенное увеличение урожайности до 351 кг/га в сравнении с другими способами – 312–321 кг/га. Наибольшей урожайность семян была при посеве люцерны ширококорядным (60 см) способом под покров яровой пшеницы и викоовсяной смеси – 360 и 359 кг/га соответственно.

При посеве люцерны под покров количество генеративных побегов к уборке составило

245–266 шт./м². Это существенно ниже показателя, полученного в варианте с беспокровным посевом (292 шт./м²). На ширококорядных посевах генеративных побегов было 258–262 шт./м² соответственно, на обычном рядовом посеве – 268 шт./м². При анализе корреляционной зависимости урожайности люцерны от показателей структуры урожайности выявлена средняя обратная зависимость ($r = -0,33$) урожайности от количества генеративных побегов. Высота растений по вариантам опыта была на уровне 93–102 см. В среднем в вариантах с покровными культурами яровая пшеница и ячмень данный показатель (96 и 94 см соответственно) снижался на 2–4 см в сравнении с контрольным беспокровным посевом. В частности, также отмечено существенное снижение высоты на 4–8 см на ширококорядных посевах, посеянных подпокровно (табл. 2).

Таблица 2

Количество генеративных побегов и высота растений люцерны изменчивой Виктория в зависимости от покровной культуры и способа посева, в среднем за 2020–2023 гг.
The number of generative shoots and the height of variable Victoria alfalfa plants, depending on the cover crop and the method of sowing, on average for 2020–2023

Покровная культура (А)	Способ посева (В)			Среднее (А)
	Ширококорядный (60 см) контроль	Ширококорядный (30 см)	Обычный рядовой (15 см)	
<i>Генеративных побегов, шт./м²</i>				
Без покрова (к)	285	287	304	292
Яровая пшеница	238	248	250	245
Ячмень	228	252	257	246
Викоовсяная смесь	279	260	259	266
Среднее (В)	258	262	268	
НСР ₀₅	Главных эффектов		Частных различий	
А	14		$F_{\phi} < F_{\tau}$	
В	$F_{\phi} < F_{\tau}$		$F_{\phi} < F_{\tau}$	
<i>Высота растений, см</i>				
Без покрова (к)	102	97	95	98
Яровая пшеница	94	97	96	96
Ячмень	94	93	95	94
Викоовсяная смесь	99	96	97	97
Среднее (В)	97	96	96	
НСР ₀₅	Главных эффектов		Частных различий	
А	2		4	
В	$F_{\phi} < F_{\tau}$		4	

Количество кистей (соцветий) на побеге люцерны было на уровне 10,8–17,0 шт. Относительно наибольшее количество кистей сформировалось при посеве люцерны ширококорядным (60 см) способом беспокровно (17,0 шт.) и под покров яровой пшеницы (16,0 шт.). Количество бобиков на кисти по вариантам опыта составило 6,3–7,9 шт. При посеве люцерны под покров ячменя и викоовсяной смеси данный показатель был существенно выше на 0,4–0,8 шт. в сравне-

нии с аналогичным показателем в контрольном варианте. Ширококорядные посева также имели преимущество по количеству бобиков на кисти (7,2 шт.) в сравнении с обычным рядовым посевом (6,7 шт.). Выявлено, что количество кистей на побеге ($r = 0,47$) и количество бобиков на кисти ($r = 0,53$) оказывали среднее положительное влияние на уровень семенной продуктивности люцерны (табл. 3).

Таблица 3

Продуктивность соцветия люцерны изменчивой Виктория в зависимости от покровной культуры и способа посева, в среднем за 2020–2023 гг.
The productivity of alfalfa inflorescence varies depending on the cover crop and the method of sowing, on average for 2020–2023

Покровная культура (А)	Способ посева (В)			Среднее (А)
	Ширококорядный (60 см) контроль	Ширококорядный (30 см)	Обычный рядовой (15 см)	
<i>Кистей на стебле, шт.</i>				
1	2	3	4	5
Без покрова (к)	17,0	14,5	12,7	14,7

1	2	3	4	5
Яровая пшеница	16,0	11,9	13,0	13,6
Ячмень	15,0	14,5	13,3	14,3
Викоовсяная смесь	15,5	14,7	10,8	13,7
Среднее (В)	15,9	13,9	12,5	
НСР ₀₅	Главных эффектов		Частных различий	
А	0,8		1,3	
В	0,5		1,1	
<i>Бобиков на кисти, шт.</i>				
Без покрова (к)	6,8	6,5	6,8	6,7
Яровая пшеница	6,9	7,2	6,3	6,8
Ячмень	7,3	7,3	6,7	7,1
Викоовсяная смесь	7,9	7,6	6,9	7,5
Среднее (В)	7,2	7,2	6,7	
НСР ₀₅	Главных эффектов		Частных различий	
А	0,4		0,7	
В	0,2		0,5	
<i>Семян в бобике, шт.</i>				
Без покрова (к)	3,2	3,0	3,2	3,1
Яровая пшеница	3,3	3,0	3,1	3,1
Ячмень	2,8	3,4	3,2	3,1
Викоовсяная смесь	2,8	3,3	3,1	3,1
Среднее (В)	3,0	3,2	3,2	
НСР ₀₅	Главных эффектов		Частных различий	
А	$F_{\phi} < F_{\tau}$		0,1	
В	$F_{\phi} < F_{\tau}$		0,1	
<i>Масса 1000 семян, г</i>				
Без покрова (к)	1,93	1,91	1,90	1,91
Яровая пшеница	1,94	1,91	1,92	1,92
Ячмень	1,95	2,00	1,98	1,98
Викоовсяная смесь	1,96	1,94	1,96	1,95
Среднее (В)	1,95	1,94	1,94	
НСР ₀₅	Главных эффектов		Частных различий	
А	0,03		$F_{\phi} < F_{\tau}$	
В	$F_{\phi} < F_{\tau}$		$F_{\phi} < F_{\tau}$	

Количество семян в бобике в среднем за годы исследований было на уровне 2,8–3,4 шт. В среднем изучаемые варианты не влияли на данный показатель, в частном характере отмечено увеличение на 0,1 шт. (НСР₀₅ – 0,1 шт.) в варианте с яровой пшеницей на ширококормном (60 см) посева. Масса 1000 семян люцерны была на уровне 1,90–2,00 г. Посев люцерны под покров ячменя и викоовсяной смеси способствовал существенному

увеличению данного показателя на 0,07 и 0,04 г при НСР₀₅ – 0,03 г.

Лабораторная всхожесть семян люцерны в урожае, определяемая после шести месяцев покоя, находилась в пределах 77–90 %, что в основном соответствует ГОСТ Р 52325–2005 (не менее 80 % для оригинальных и элитных семян). Относительно наибольшей 90 % лабораторная всхожесть была на ширококормных посевах в ва-

рианте с покровной культурой викоовсяная смесь. При этом следует отметить высокое содержание количества твердых семян в урожае – 38–51 %, что, возможно, связано с засушливыми условиями вегетационных периодов в годы проведения исследований. Твердосемянность в вариантах с

покровными культурами яровая пшеница (46 %) и ячмень (44 %) была ниже, чем в контрольном варианте (без покрова) на 2 и 4 % соответственно. Отмечено также существенное снижение твердосемянности на 3 и 4 % на широкорядном (30 см) и обычном рядовом посевах (табл. 4).

Таблица 4

Посевные качества семян в урожае люцерны изменчивой Виктория в зависимости от покровной культуры и способа посева, в среднем за 2020–2023 гг.
Sowing qualities of seeds in the harvest of alfalfa variable Victoria, depending on the cover crop and the method of sowing, on average for 2020–2023

Покровная культура (А)	Способ посева (В)			Среднее (А)
	Широко­рядный (60 см) контроль	Широко­рядный (30 см)	Обыч­ный рядовой (15 см)	
<i>Лабораторная всхожесть, %</i>				
Без покрова (к)	86	85	83	85
Яровая пшеница	88	77	88	84
Ячмень	81	88	83	84
Викоовсяная смесь	90	90	82	87
Среднее (В)	86	85	84	
НСР ₀₅	Главных эффектов		Частных различий	
А	2		3	
В	1		2	
<i>Твердосемянность, %</i>				
Без покрова (к)	45	50	49	48
Яровая пшеница	51	43	45	46
Ячмень	49	44	38	44
Викоовсяная смесь	51	46	46	48
Среднее (В)	49	46	45	
НСР ₀₅	Главных эффектов		Частных различий	
А	1		2	
В	1		2	

Анализ энергетической эффективности четырехлетнего возделывания люцерны Виктория на семена показал, что широко­рядный (60 см) посев без покрова обеспечивал меньшие затраты энергии 10,7 ГДж/га по сравнению с затратами 16,7–18,0 ГДж/га при возделывании под покровными культурами яровая пшеница и викоовсяная смесь. Но в то же время при беспокровном посеве люцерны наблюдается и меньший выход энергии 58,7 ГДж/га в сравнении с выходом энергии 79,0–101,6 ГДж/га при посеве люцерны подпокровно. В результате высокий коэффициент энергетической эффективности (КЭЭ) был в варианте с покровной культурой викоовсяная смесь на зеленую массу – 5,65.

При беспокровном возделывании люцерны на семена производственные затраты (15,2 тыс. руб./га) были наименьшими. Подпокровный посев люцерны широко­рядным (60 см) способом увеличивал производственные затраты до 19,2–23,4 тыс. руб./га. Себестоимость 1 кг семян люцерны при беспокровном посеве (22,9 р./кг) была ниже, чем данный показатель при подпокровном посеве (26,6 и 32,6 р./кг). В итоге возделывание люцерны под покровом яровой пшеницы обеспечило наибольший чистый доход 102,6 тыс. руб./га при уровне рентабельности 535 %, под покровом викоовсяной смеси – 88,8 тыс. руб./га при уровне рентабельности 379 %. Наиболее высоким уровень рентабельно-

сти 556 % был при возделывании люцерны без покрова.

ВЫВОДЫ

1. За четыре года пользования травостоем можно отметить, что люцерна изменчивая является засухоустойчивой культурой, формирующей семенную продуктивность на достаточно высоком уровне: в 1 г.п. – 570–759 кг/га, в последующие годы – 234–309 кг/га.

2. В среднем наибольшая урожайность семян люцерны Виктория была получена при посеве широкорядным (60 см) способом в вариантах с покровными культурами яровая пшеница (360 кг/га) и викоовсяная смесь (359 кг/га), при формировании следующих элементов структуры: количество

генеративных побегов – 238 и 279 шт./м², кистей на побеге – 16,0 и 15,5 шт., бобиков на кисти – 6,9 и 7,9 шт., семян в бобике – 3,3 и 2,8 шт., масса 1000 семян – 1,94 и 1,96 г соответственно. На уровень урожайности среднее положительное влияние оказывали количество кистей на побеге ($r = 0,47$) и количество бобиков на кисти ($r = 0,53$).

3. Лабораторная всхожесть семян в урожае находилась на уровне 77–90 %, относительно наибольшей 90 % всхожесть была на широкорядных посевах с междурядьями 60 и 30 см в варианте с викоовсяной смесью.

4. При возделывании люцерны на семенные цели наиболее энергетически выгодно (КЭЭ – 5,65) использование в качестве покровной культуры викоовсяной смеси; экономически (уровень рентабельности – 556 %) – беспокровный посев.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фигурин В.А.* «Осеверение» люцерны // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 11. – С. 28–30.
2. *Агроэкологическое семеноводство многолетних трав / Н.И. Переpravо, В.Н. Золотарев, В.М. Косолапов [и др.].* – М., 2013. – 54 с.
3. *Нагибин А.Е., Тормозин М.А., Зырянцева А.А.* Травы в системе кормопроизводства Урала. – Екатеринбург, 2018. – 784 с.
4. *Степанова Г.В., Ионов А.А., Барсуков Н.М.* Сорта люцерны для северных регионов возделывания // Кормопроизводство. – 2023. – № 11. – С. 32–36. – DOI: 10.25685/krm.2023.11.2023.004.
5. *Tormozin M.A., Zyryantseva A.A.* Screening of promising selection samples of alfalfa variable in productivity and longevity // International Journal of Biology and Biomedical Engineering. – 2020. – № 14. – С. 43–48.
6. *Тормозин М.А., Зырянцева А.А.* Изучение коллекции люцерны в условиях Среднего Урала по основным хозяйственно ценным признакам // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 8. – С. 56–59. – DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10809.
7. *Спиридонов А.М., Мазин А.М.* Продуктивность сортов люцерны изменчивой и синей в условиях северо-запада России // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 60. – С. 16–22. – DOI: 10.24411/2078-1318-2020-13016.
8. *Богатырева Е.В., Фоменко П.А., Щекутьева Н.А.* Сравнительная характеристика сортов люцерны в условиях Вологодской области // АгроЗооТехника. – 2021. – Т. 4, № 4. – С. 1–13. – DOI: 10.15838/alt.2021.4.4.1.
9. *Пузииков А.Н., Момонов А.Х., Дубинин А.В.* Продуктивность сортов люцерны изменчивой селекции Омского аграрного научного центра // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1(69). – С. 44–50. – DOI: 10.31563/1684-7628-2024-69-1-44-50.
10. *Rashidi M., Zand B., Abbassi S.* Response of Seed Yield and Seed Yield Components of Alfalfa (*Medicago sativa*) to Different Seeding Rates // American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci. – 2009. – № 5(6). – С. 786–790.
11. *Гущина В.А., Тимошкин О.А., Володькина Г.Н.* Семенная продуктивность люцерны изменчивой при различных способах выращивания // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 9. – С. 23–26. – DOI: 10.28983/asj.y2021i9pp23-26.
12. *Абасов М.Ш., Гаплаев М.Ш., Абасов Ш.М.* Продуктивность семенной люцерны в лесостепной зоне Чеченской Республики в зависимости от нормы высева // Кормопроизводство. – 2023. – № 10. – С. 31–34. – DOI: 10.25685/krm.2023.10.2023.004.
13. *Дюкова Н.Н., Харалгин А.С.* Приемы возделывания люцерны изменчивой в лесостепи Западной Сибири // Аграрно-продовольственная политика России. – 2024. – № 2–3(110). – С. 63–69. – DOI: 10.35524/2227-0280_2024_02_03_63.

REFERENCES

1. *Figurin V.A., Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2012, No. 11, pp. 28–30. (In Russ)
2. *Perpravo N.I., Zolotarev V.N., Kosolapov V.M., Ryabova V.E.H., Karpin V.I., Trukhan O.V., Agroekologicheskoe semenovodstvo mnogoletnikh trav* (Agroecological seed production of perennial grasses), Moscow, 2013, 54 p.

3. Nagibin A.E., Tormozin M.A., Zyryantseva A.A., *Travy v sisteme kormo-proizvodstva Urala* (Herbs in the feed production system of the Urals), Ekaterinburg, 2018, 784 p.
4. Stepanova G.V., Ionov A.A., Barsukov N.M., *Kormoproizvodstvo*, 2023, No. 11, pp. 32–36, DOI: 10.25685/krm.2023.11.2023.004. (In Russ)
5. Tormozin M.A., Zyryantseva A.A., Screening of promising selection samples of alfalfa variable in productivity and longevity, *International Journal of Biology and Biomedical Engineering*, 2020, No. 14, pp. 43–48.
6. Tormozin M.A., Zyryantseva A.A., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2020, T. 34, No. 8, pp. 56–59, DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10809. (In Russ)
7. Spiridonov A.M., Mazin A.M., *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, No. 60, pp. 16–22, DOI: 10.24411/2078-1318-2020-13016. (In Russ)
8. Bogatyreva E.V., Fomenko P.A., Shchekut'eva N.A., *AgroZooTekhnika*, 2021, T. 4, No. 4, pp. 1–13, DOI: 10.15838/alt.2021.4.4.1. (In Russ)
9. Puzikov A.N., Momonov A.KH., Dubinin A.V., *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2024, No. 1(69), pp. 44–50, DOI: 10.31563/1684-7628-2024-69-1-44-50. (In Russ)
10. Rashidi M., Zand B., Abbassi S., Response of Seed Yield and Seed Yield Components of Alfalfa (*Medicago sativa*) to Different Seeding Rates, *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci*, 2009, No. 5(6), pp. 786–790.
11. Gushchina V.A., Timoshkin O.A., Volod'kina G.N., *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*, 2021, No. 9, pp. 23–26, DOI: 10.28983/asj.y2021i9pp23-26. (In Russ)
12. Abasov M.SH., Gaplaev M.SH., Abasov SH.M., *Kormoproizvodstvo*, 2023, No. 10, pp. 31–34, DOI: 10.25685/krm.2023.10.2023.004. (In Russ)
13. Dyukova N.N., Kharalgin A.S., *Agroprodovol'stvennaya politika Rossii*, 2024, No. 2-3(110), pp. 63–69, DOI: 10.35524/2227-0280_2024_02-03_63. (In Russ)

Информация об авторах:

Н.И. Касаткина, доктор сельскохозяйственных наук

Ж.С. Нелюбина, доктор сельскохозяйственных наук

Contribution of the authors:

N.I. Kasatkina, doctor of agricultural sciences

Zh.S. Nelyubina, doctor of agricultural sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ ШТАММОВ БАКТЕРИЙ *BACILLUS LICHENIFORMIS* НА ПЛОДОНОСЯЩЕЙ ПЛАНТАЦИИ САДОВОЙ ЗЕМЛЯНИКИ

Р.Р. Колоколов, А.А. Беляев

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: belyaev.an.ar@gmail.com

Для цитирования: Колоколов Р.Р., Беляев А.А. Полифункциональное действие штаммов бактерий *Bacillus licheniformis* на плодоносящей плантации садовой земляники // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 36–45. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-36-45.

Ключевые слова: земляника, бактериальные штаммы, адаптирующее действие, ростостимулирующее действие, защитное действие, биологическая эффективность, продуктивность.

Реферат. В производственном эксперименте на плодоносящих насаждениях земляники в сельскохозяйственной артели «Сады Сибири» (Новосибирская область) в 2022–2024 гг. доказано наиболее эффективное стимулирование адаптивных свойств и вегетативного размножения растений под влиянием предпосадочной обработки корневой системы саженцев штаммами бактерий *Bacillus licheniformis* ВКПМ В-10561, *B. licheniformis* ВКПМ В-10562, *B. licheniformis* ВКПМ В-10563 и *B. licheniformis* ВКПМ В-10564 в концентрациях 1×10^5 КОЕ/мл. Приживаемость высаженных растений увеличивалась на 13–17 % относительно контроля. Количество дочерних розеток у продуктивных растений возрастало на 33–58 %, до уровня 4,8–5,7 розеток/растение. Наибольшее ростостимулирующее, а также защитное действие против грибных инфекционных болезней оказывали штаммы *B. licheniformis* ВКПМ В-10563 и *B. licheniformis* ВКПМ В-10564. Количество листьев у одного растения увеличивалось на 14–21 %, биомасса одного растения – на 42–48 %, длина корней – на 10–16 % относительно контроля. Против белой пятнистости листьев, фузариоза и вертициллёза данные штаммы действовали с биологической эффективностью от 41 до 81 %. Доказано стимулирование урожайности земляники во всех вариантах с предпосадочной обработкой бактериальными штаммами на 0,3–1,0 т/га. Под влиянием штамма *B. licheniformis* ВКПМ В-10561 урожайность увеличивалась на 35 %, при 2,7 т/га в контрольном варианте, *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 – на 16 %, *B. licheniformis* ВКПМ В-10563 – на 10 % и *B. licheniformis* ВКПМ В-10564 – на 30 %.

POLYFUNCTIONAL EFFECT OF *BACILLUS LICHENIFORMIS* BACTERIAL STRAINS ON A FRUITING PLANTATION OF GARDEN STRAWBERRY

R.R. Kolokolov, A.A. Belyaev

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: belyaev.an.ar@gmail.com

Keywords: strawberry, bacterial strains, adaptive action, growth-stimulating action, protective action, biological efficiency, productivity.

Abstract. In a production experiment in production strawberry plantings in the agricultural cooperative “Gardens of Siberia” (Novosibirsk region) in 2022–2024, the most effective stimulation of the adaptive properties and vegetative propagation of plants under the influence of pre-planting treatment of the root system of seedlings with bacterial strains *Bacillus licheniformis* VKPM B-10561, *B. licheniformis* VKPM B-10562, *B. licheniformis* VKPM B-10563 and *B. licheniformis* VKPM B-10564 at concentrations of 1×10^5 CFU/ml was proven. The survival rate of planted plants increased by 13–17 % relative to the control. The number of daughter rosettes in productive plants increased by 33–58 %, to a level of 4.8–5.7 rosettes/plant. The strains *B. licheniformis* VKPM B-10563 and *B. licheniformis* VKPM B-10564 had the greatest growth-stimulating and protective effect against fungal infectious diseases. The number of leaves per plant increased by 14–21 %, the biomass of one plant – by 42–48 %, the length of roots – by 10–16 %, relative to the control. Against white leaf spot, fusarium and verticillium wilt, these strains acted with biological efficiency from 41 to 81 %. Stimulation of strawberry yield in all variants with pre-planting treatment with bacterial strains by 0.3–1.0 t/ha was proven. Under the influence of the *B. licheniformis* strain VKPM B-10561, the yield increased by 35 %, with 2.7 t/ha in the control variant, *B. licheniformis* VKPM B-10562 – by 16 %, *B. licheniformis* VKPM B-10563 – by 10 % and *B. licheniformis* VKPM B-10564 – by 30 %.

В защите растений активно используются биологические препараты на основе штаммов сапротрофных бактерий рода *Bacillus* Cohn против грибных болезней различных сельскохозяйственных культур. В настоящее время в Российской Федерации разрешено применение штаммов видов *Bacillus subtilis* (Ehrenberg) Cohn, *B. amyloliquefaciens* (Fukumoto) Priest et al. [1], которые используются как одиночные штаммы или в смесях между собой, а также с бактериями рода *Pseudomonas*, вида *B. thuringiensis*, в смесях с грибами рода *Trichoderma*, а также в смесях с актиномицетами. Известно полифункциональное действие биологических препаратов на основе бактерий рода *Bacillus*, включающее наряду с защитным действием антагонистического и иммунизирующего характера адаптирующее (антистрессовое), ростостимулирующее влияние на растения [2]. Наряду с указанными видами бацилл проводятся испытания штаммов сапротрофных бактерий вида *B. licheniformis* (Weigmann) Chester, обладающих похожими свойствами [3]. В частности, отмечена антагонистическая активность штаммов *B. licheniformis* против фитопатогенов на основе антибиоза [4], синтез липопептидов, обладающих антибиотической активностью, подавляющей грибы рода *Fusarium* [5]. В лабораторных условиях доказана ингибирующая активность штаммов *B. licheniformis* против грибов р. *Fusarium*, которая составляла 33–64 % [2]. Показано повышение засухоустойчивости растений на основе синтеза ферментов системы этилензависимой регуляции роста растений, продукции индолилуксусной кислоты, что позволяло увеличить всхожесть семян пшеницы соответственно на 11–46 %, жизнеспособность проростков — на 11–151 % [6]. Получена биологическая эффективность действия штаммов *B. licheniformis* против парши яблони 57–69 % в условиях эпифитотии [7]. В наших предварительных исследованиях было доказано антистрессовое действие предпосадочной обработки саженцев земляники штаммом бактерий *B. licheniformis*, приводившее к уменьшению поврежденности плодов солнечными ожогами и снижавшее их пораженность серой гнилью (биологическая эффективность 53 %) [8]. Штаммы бактерий *B. licheniformis* в перспективе в качестве фунгицидов или микробиологических пестицидов могут расширить возможности биологической защиты растений, представлять альтернативу использованию химических препаратов, в частности при выращивании ягодных культур.

Цель исследования – оценка действия штаммов бактерий *B. licheniformis* на адаптацию растений земляники, проявление роста, вегетативное размножение, поражаемость грибными заболеваниями и продуктивность в производственных условиях.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнена в 2022–2024 гг. на плодоносящей плантации садовой земляники сельскохозяйственной артели (СХА) «Сады Сибири» Новосибирской области, в подзоне дренированной лесостепи Приобья, почва серая лесная средне-суглинистая, предшественник – черный пар.

Объектами исследования являлся сорт земляники Юния Смайдс; четыре штамма сапротрофных бактерий *Bacillus licheniformis* из коллекции культур ООО НПФ «Исследовательский центр» (научоград Кольцово): *Bacillus licheniformis* ВКПМ В-10561 (экспериментальный биопрепарат Фитоп 13.71), *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 (Фитоп 14.72), *B. licheniformis* ВКПМ В-10563 (Фитоп 15.73), *B. licheniformis* ВКПМ В-10564 (Фитоп 16.74); белая пятнистость (рамуляриоз) земляники (возбудитель гриб *Ramularia tulasnei* Sacc. (анаморфа) Ascomycota, Mycosphaerellales); фузариоз земляники (возб. грибы рода *Fusarium*); вертициллез земляники (возб. грибы рода *Verticillium*).

Погодные условия периода вегетации в 2022 г. характеризовались резко сниженным количеством осадков по сравнению с нормой и пониженным температурным фоном во 2-й половине вегетации, ГТК по Селянинову составил 0,6, в 2023 г. – количеством осадков, резко сниженным в 1-й половине вегетации по сравнению с нормой и повышенным во 2-й половине, а также повышенным температурным фоном, ГТК = 1,0, в 2024 г. – повышенной температурой и сильным увлажнением, ГТК = 1,8. В опыте соблюдалась зональная технология выращивания промышленной плантации земляники [9].

Производственный опыт по испытанию полифункционального действия биопрепаратов на основе *B. licheniformis* при закладке плодоносящих насаждений земляники включал четыре варианта с различными штаммами биоагентов, а также один эталонный вариант с обработкой корней саженцев препаратом комплексного удобрения Феникс, 0,05 % и один контрольный вариант.

Схема опыта:

1. Контроль (без внесения штаммов).
2. Феникс, 0,05 % – предпосадочная обработка.
3. *B. licheniformis*, штамм ВКПМ В-10561.
4. *B. licheniformis*, штамм ВКПМ В-10562.
5. *B. licheniformis*, штамм ВКПМ В-10563.
6. *B. licheniformis*, штамм ВКПМ В-10564.

Общая площадь под опытом – 0,2 га. Сроки посадки земляники в опыте – 1-я декада июня. Количество обрабатываемых растений 3000 шт. на 1 вариант. Способ нанесения биоагентов при предпосадочной обработке – замачивание корневой системы саженцев с экспозицией 2 ч в рабочей жидкости, содержащей биоагент. Расход рабочей жидкости на 1 вариант – 20 л. Расход штаммов бактерий (в исходной концентрации 1×10^9 КОЕ/мл) – жидкая форма, 2 мл на вариант, рабочая концентрация 1×10^5 КОЕ/мл.

Расход препарата Феникс, 0,05 % – 10 мл на вариант.

Оценку показателей приживаемости высаженных растений, роста, фитосанитарного состояния, вегетативного размножения, продуктивности, урожайности растений делали по общепринятым в сортоизучении садовой земляники и защите растений методикам [10–12]. В статистической обработке данных использованы методы оценки достоверности различий между средними величинами с использованием многофакторного дисперсионного анализа [13] и пакета прикладных компьютерных программ SNEDECOR для Windows [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Производственный опыт по испытанию предпосадочной обработки корневой системы

саженцев штаммами бактерий *B. licheniformis* при закладке плодоносящей плантации садовой земляники в СХА «Сады Сибири» был заложен 11 июня 2022 г. на производственном квартале хозяйства.

Приживаемость саженцев. В среднем на 1 га высаживалось по 56700 растений. Наблюдения за приживаемостью высаженных саженцев показали, что в контрольном варианте до конца вегетации сохранилось 72,0 % растений (табл. 1). Снижению приживаемости способствовала засушливая погода летнего периода. Достоверное увеличение приживаемости получено в вариантах с предпосадочной обработкой всеми применяемыми штаммами, на 13–17 % относительно контроля (в 1,2 раза) без существенных различий между вариантами. Уровень приживаемости достигал значений 85–89 % от числа высаженных саженцев. Сохранность (выживаемость) растений, ушедших на зимовку во время учетов в 2023 и 2024 гг. несущественно отличалась от контроля. Можно констатировать наличие стимулирующего влияния на адаптивные свойства земляники (приживаемость) у всех четырех изучаемых штаммов бактерий *B. licheniformis*.

Густота стояния продуктивных растений. По результатам приживаемости в 2022 г. густота стояния растений на плодоносящей плантации в контроле составила количество растений, равное 40824 растений/га, в 2023 г. после выживаемости во время зимовки – 39312 растений/га, в 2024 г. – 37800 растений/га. В вариантах с применением различных бактериальных штаммов в течение трех лет наблюдений доказано достоверное стимулирование густоты стояния растений на 8–12 % до уровня 42336 растений/га, что соответствовало уровню эталона Феникс, 0,05 %.

Таблица 1

Влияние обработки бактериальными штаммами на приживаемость саженцев и густоту стояния продуктивных растений земляники (учеты 08.10.2022, 25.06.2023 и 30.06.2024)
The effect of treatment with bacterial strains on the survival rate of seedlings and the density of productive strawberry plants (counts on 08.10.2022, 25.06.2023 and 30.06.2024)

Вариант	Приживаемость, %	Густота стояния продуктивных растений, растений/га		
	2022 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
1	2	3	4	5
Контроль	72,0	40824	39312	37800
Феникс, 0,05 %	85,3*	48384*	43848*	43848*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10561	85,3*	48384*	43848*	42336*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10562	89,3*	50652*	43848*	42336*

1	2	3	4	5
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10563	89,3*	50652*	42336*	42336*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10564	88,0*	49896*	42336*	42336*
НСР ₀₅ по вариантам	11,4	3014		
НСР ₀₅ по годам	–	2131		

* – разность с контролем статистически достоверна ($P < 0,05$).

Количество листьев у одного растения.
В контроле формировалось от 5,4 до 6,8 листьев/растение в годы наблюдений (табл. 2).

В 2022 г. наблюдалась статистически недоканная ($P < 0,05$) тенденция стимулирования количества листьев в вариантах с предпосадочной обработкой штаммами *B. licheniformis* ВКПМ В-10561 и *B. licheniformis* ВКПМ В-10564. В 2023 г. доказано стимулирование образования листьев во всех вариантах с применением бактериальных штаммов на 18–44 % относительно контроля, превосходящее по эффективности эталонный вариант с гуминовым препаратом Феникс, 0,05 %. В 2024 г. стимулирующее вли-

яние доказано в варианте с обработкой штаммом *B. licheniformis* ВКПМ В-10564, увеличение на 14 % относительно контроля. В среднем за три года наблюдений влияние, стимулирующее формирование листьев, увеличение на 14–22 % относительно контроля, доказано в вариантах с обработкой штаммами *B. licheniformis* ВКПМ В-10561, ВКПМ В-10563 и ВКПМ В-10564. При этом *B. licheniformis* ВКПМ В-10561 и ВКПМ В-10564 достоверно превосходили по эффективности эталонный вариант с Феникс, 0,05 %, а штамм *B. licheniformis* ВКПМ В-10563 действовал на одинаковом уровне с эталоном.

Таблица 2

Влияние обработки бактериальными штаммами на рост и вегетативное размножение земляники (учеты в конце вегетации 2022–2024 гг.)
The effect of treatment with bacterial strains on the growth and vegetative propagation of strawberries (counts at the end of the growing season 2022–2024)

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Средние за три года
1	2	3	4	5
<i>Количество листьев, листьев/растение</i>				
Контроль	5,4	6,8	5,8	6,0
Феникс, 0,05 %	6,0	7,0	6,1	6,3
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10561	6,0	9,8*	6,3	7,4*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10562	5,2	8,0*	6,2	6,5
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10563	5,5	8,8*	6,3	6,8*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10564	5,9	9,4*	6,6*	7,3*
НСР ₀₅ по вариантам = 0,7; НСР ₀₅ по годам = 0,5				
<i>Общая биомасса одного растения, г/растение</i>				
Контроль	26,6	44,8	42,8	38,1
Феникс, 0,05 %	35,8*	36,4	42,8	38,3
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10561	43,0*	38,2	40,4	40,5
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10562	34,0	54,4*	49,0	45,8*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10563	43,8*	67,0*	57,8*	56,2*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10564	40,0*	62,8*	59,8*	54,2*
НСР ₀₅ по вариантам = 8,6; НСР ₀₅ по годам = 6,0				
<i>Длина корней одного растения, см</i>				
Контроль	21,0	23,8	21,2	22,0
Феникс, 0,05 %	19,8	20,6	22,2	20,9
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10561	22,4	20,2	23,2*	21,9
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10562	21,0	21,8	20,6	21,1
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10563	26,2*	25,6	24,4*	25,4*

1	2	3	4	5
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10564	20,8	27,2*	24,8*	24,3*
НСР ₀₅ по вариантам = 2,0; НСР ₀₅ по годам = 1,4				
<i>Количество розеток, розеток/растение</i>				
Контроль	2,2	6,4	2,2	3,6
Феникс, 0,05 %	2,9	7,6*	2,4	4,3
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10561	3,8*	8,8*	2,5	5,0*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10562	3,8*	8,4*	2,8	5,0*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10563	2,8	8,8*	2,8	4,8*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10564	4,5*	9,4*	3,2*	5,7*
НСР ₀₅ по вариантам = 0,8; НСР ₀₅ по годам = 0,6				

Общая биомасса одного растения. Контрольные растения формировали биомассу, равную 26,6 г/растение в 2022 г., 44,8 – в 2023 г. и 42,8 – в 2024 г.

Наиболее стабильное действие, стимулирующее формирование биомассы, в течение трех лет наблюдений доказано в вариантах с предпосадочной обработкой штаммами *B. licheniformis* ВКПМ В-10563 и ВКПМ В-10564, увеличение на 42–48 % относительно контроля достоверно ($P < 0,05$) выше по эффективности, чем в эталонном варианте с гуминовым препаратом Феникс, 0,05 %. Действие остальных штаммов было менее стабильно и существенно ниже по эффективности – на одинаковом уровне с эталоном.

Длина корней одного растения. Контрольные растения формировали длину корней, варьирующую по годам в пределах 21,0–23,8 см. В 2022 г. доказано стимулирование данного признака под влиянием штамма *B. licheniformis* ВКПМ В-10563 на 24,8 %, при 21,0 см в контроле. В 2023 г. стимулирующее действие оказывал штамм *B. licheniformis* ВКПМ В-10564, увеличение на 14,3 % при 23,8 см в контроле. В 2024 г. эффективно действовали штаммы *B. licheniformis* ВКПМ В-10561, ВКПМ В-10563 и ВКПМ В-10564, увеличивая длину корней на 9,4, 15,1 и 17,0 % при 21,2 см в контроле.

В среднем за три года наблюдений эффективно стимулировали длину корней штаммы *B. licheniformis* ВКПМ В-10563 и ВКПМ В-10564, увеличивая данный признак на 16 и 10 % при 22,0 см у контрольных растений. У двух указанных штаммов можно констатировать наличие наиболее эффективного ростостимулирующего действия по признакам количества листьев, общей биомассы и длины корней одного растения земляники.

Вегетативное размножение, количество дочерних розеток. Продуктивные растения в

контрольном варианте формировали по 2,2 розетки/растение в 2022 и 2024 гг. и по 6,4 розетки/растение в 2023 г.

В 2022 г. достоверно доказано ($P < 0,05$) стимулирующее действие штаммов *B. licheniformis* ВКПМ В-10561, ВКПМ В-10562 и ВКПМ В-10564 на формирование количества розеток: увеличение на 67,9, 69,6 и на 100,0 %, данные штаммы достоверно превосходили по эффективности гуминовый эталон Феникс, 0,05 %. В 2023 г. все испытываемые штаммы оказывали стимулирующее действие: увеличение на 31,3–46,9 % относительно контроля. В 2024 г. доказано стимулирующее действие штамма *B. licheniformis* ВКПМ В-10564, увеличение на 45,5 % относительно контроля.

В среднем за три года наблюдений доказано стимулирующее действие всех изучаемых штаммов *B. licheniformis* на вегетативное размножение земляники, увеличение на 33–58 % при 3,6 розеток/растение в контроле. При этом штамм *B. licheniformis* ВКПМ В-10564 превосходил по эффективности эталонный вариант с Феникс, 0,05 %, а остальные штаммы действовали на уровне эталона.

Поражение инфекционными болезнями. Поражение листьев земляники белой пятнистостью в течение трёх лет развивалось на среднем уровне, степень поражения контрольных растений в 2022 г. составляла 25,2 %, в 2023 г. – 27,0 %, в 2024 г. – 19,0 %. Достоверно доказано снижение степени поражения во всех вариантах, где применялись штаммы бактерий *B. licheniformis*, с биологической эффективностью (БЭ), равной 27,8–55,6 %. В среднем за три года наблюдений доказано защитное действие у всех штаммов бацилл, БЭ = 33,7–42,4 %. Механизм защитного действия имел характер иммунизирующего действия на растения земляники, так как штаммами бактерий обрабатывали корневую систему саженцев, а возбудитель белой пятнистости поражал

листовую поверхность, на которую штаммы не наносили.

В Новосибирской области земляника поражается фузариозом (возбудители *Fusarium solani* (Mart.) App. et Wr., *F. semitectum* Berk. et Ravenel, Нурфомыцеталя, Deuteromycota) и вертициллезом (возбудитель *Verticillium albo-atrum* Reinke et Berth., Нурфомыцеталя, Deuteromycota) [15].

В 2022 г. поражение фузариозом имело единственный характер, на фоне которого защитное действие изучаемых штаммов не было доказано. В 2023 г. контрольные растения имели уровень развития фузариоза, равный 5,0 %. В опытных вариантах не было обнаружено поражения фузариозом. В 2024 г. в контроле развитие фузариоза составило 7,0 %. Под действием штаммов *B. licheniformis* ВКПМ В-10561 и ВКПМ В-10563 развитие болезни было снижено в 3,5 и 2,3 раза с БЭ, равной 71,4 и 57,1 %. В среднем за три года не удалось доказать влияние штаммов на поражение земляники фузариозом.

Пораженность вертициллезом контрольных растений составила в 2022 г. 22,0 %, в 2023 и

2024 гг. – по 5,0 %. В 2022 г. достоверно доказано защитное действие во всех вариантах со штаммами *B. licheniformis* – снижение развития болезни в 1,3–11,0 раз, БЭ – от 22,7 до 90,9 %. В 2023 и 2024 гг. наблюдались слабые тенденции снижения развития болезни в опытных вариантах.

В среднем за три года наблюдений достоверно ($P < 0,05$) доказано защитное действие в вариантах с применением предпосадочной обработки штаммами *B. licheniformis* ВКПМ В-10563 и ВКПМ В-10564 с БЭ = 53,1 % и 81,3 %. Действие штаммов бактерий против возбудителей фузариоза и вертициллеза могло иметь характер антагонистического и иммунизирующего влияния. Таким образом, наиболее эффективное действие против инфекционных болезней земляники оказывали штаммы *B. licheniformis* ВКПМ В-10563 и ВКПМ В-10564.

Влияние обработки бактериальными штаммами на поражение земляники инфекционными болезнями представлено в табл. 3.

Таблица 3

Влияние обработки бактериальными штаммами на поражение земляники инфекционными болезнями (учеты 08.10.2022, 16.09.2023 и 15.09.2024)
The effect of treatment with bacterial strains on the defeat of strawberries by infectious diseases (accounts of 08.10.2022, 16.09.2023 and 15.09.2024)

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Средние за три года
1	2	3	4	5
<i>Степень поражения белой пятнистостью, %</i>				
Контроль	25,2	27,0	19,0	23,7
Феникс, 0,05 %	18,2*	20,0*	11,8*	16,7*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10561	17,8*	16,4*	13,0*	15,7*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10562	17,0*	15,0*	13,0*	15,0*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10563	16,4*	13,8*	11,8*	14,0*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10564	18,2*	12,0*	10,8*	13,7*
НСР ₀₅ по вариантам = 2,7; НСР ₀₅ по годам = 1,9				
<i>Развитие фузариоза, %</i>				
Контроль	0,0	5,0	7,0	4,0
Феникс, 0,05 %	2,0	0,0*	8,0	3,3
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10561	2,0	0,0*	2,0*	1,3
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10562	2,0	0,0*	5,0	2,3
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10563	5,0	0,0*	3,0*	2,7
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10564	1,0	0,0*	4,0	1,7
НСР ₀₅ по вариантам = 3,8; НСР ₀₅ по годам = 2,7				
<i>Развитие вертициллеза, %</i>				
Контроль	22,0	5,0	5,0	10,7

1	2	3	4	5
Феникс, 0,05 %	5,0*	2,0	2,0	3,0*
1	2	3	4	5
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10561	12,0*	3,0	3,0	6,0
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10562	17,0*	5,0	5,0	9,0
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10563	11,0*	2,0	2,0	5,0*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10564	2,0*	2,0	2,0	2,0*
НСР ₀₅ по вариантам = 5,0; НСР ₀₅ по годам = 3,6				

Продуктивность и урожайность земляники. Контрольные растения формировали в 2023 г. 12,3 плода/растение, в 2024 г. – 10,2 плода/расте-

ние (табл. 4). В среднем за два года наблюдений не отмечено стимулирующего действия в образовании количества плодов в опытных вариантах.

Таблица 4

Влияние обработки бактериальными штаммами на продуктивность и урожайность земляники (учеты 25.06.2023 и 30.06.2024)
The effect of treatment with bacterial strains on the productivity and yield of strawberries (accounts on 06/25/2023 and 06/30/2024)

Вариант	2023 г.	2024 г.	Средние за два года
1	2	3	4
<i>Количество сформированных плодов на одном растении, плодов/растение</i>			
Контроль	12,3	10,2	11,2
Феникс, 0,05 %	7,9	8,1	8,0
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10561	12,5	7,9	10,2
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10562	9,7	9,7	9,7
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10563	10,2	9,6	9,9
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10564	12,6	10,8	11,7
НСР ₀₅ по вариантам = 1,3; НСР ₀₅ по годам = 0,7			
<i>Масса одного плода, г/плод</i>			
Контроль	7,2	5,1	6,1
Феникс, 0,05 %	8,5*	6,0*	7,3*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10561	9,1*	7,2*	8,1*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10562	9,8*	5,2	7,5*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10563	8,3*	6,0*	7,1*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10564	8,4*	5,8*	7,1*
НСР ₀₅ по вариантам = 0,6; НСР ₀₅ по годам = 0,4			
<i>Продуктивность плодов одного растения, г/растение</i>			
Контроль	88,2	52,1	70,1
Феникс, 0,05 %	70,2	48,2	59,2
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10561	111,2*	56,6	83,9*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10562	95,2*	50,3	72,7
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10563	82,8	57,3	70,1
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10564	102,5*	62,7*	82,6*
НСР ₀₅ по вариантам = 6,0; НСР ₀₅ по годам = 3,4			
<i>Урожайность, т/га</i>			

1	2	3	4
Контроль	3,4	2,0	2,7
Феникс, 0,05 %	3,0	2,1	2,6
1	2	3	4
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10561	4,9*	2,4*	3,6*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10562	4,2*	2,1	3,1*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10563	3,5	2,4*	3,0*
<i>Bacillus licheniformis</i> ВКПМ В-10564	4,4*	2,7*	3,5*
НСР ₀₅ по вариантам = 0,3; НСР ₀₅ по годам = 0,2			

Масса одного плода в 2023 г. составила 7,2 г/плод, в 2024 г. – 5,1 г/плод в контроле. Стимулирующее влияние доказано во всех опытных вариантах, увеличение на 16,2–37,4 % в 2023 г. В 2024 г. также доказано стимулирующее действие во всех опытных вариантах кроме *B. licheniformis* ВКПМ В-10562, увеличение на 13,3–39,8 %. В среднем за два года наблюдений доказано увеличение массы одного плода во всех опытных вариантах на 16,0–32,2 % относительно контроля. При этом эффективность действия штамма *B. licheniformis* ВКПМ В-10561 статистически достоверно ($P < 0,05$) превосходила действие Феникс, 0,05 %, у остальных штаммов была на уровне эталона.

Продуктивность плодов у одного растения в контроле в 2023 г. составила 88,2 г/растение, в 2024 г. – 52,1 г/растение. В 2023 г. доказано стимулирующее влияние предпосадочной обработки штаммами *B. licheniformis* ВКПМ В-10561, ВКПМ В-10562 и ВКПМ В-10564 – увеличение продуктивности на 26,1, на 8,0 и на 16,2 % относительно контроля. В 2024 г. доказано стимулирование продуктивности в варианте со штаммом *B. licheniformis* ВКПМ В-10564 – увеличение на 20,4 % относительно контроля.

В среднем за два года наблюдений доказано стимулирование продуктивности в вариантах с применением штаммов *B. licheniformis* ВКПМ В-10561 и *B. licheniformis* ВКПМ В-10564, увеличение на 19,7 и на 17,8 % относительно контроля. При этом в обоих вариантах эффективность статистически достоверно превосходила эталон Феникс, 0,05 %.

Урожайность плантации в контрольном варианте составила в 2023 г. 3,4 т/га, в 2024 г. – 2,0 т/га. В 2023 г. доказано стимулирование урожайности в вариантах с обработкой *B. licheniformis* ВКПМ В-10561, В-10562 и В-10564, увеличение на 1,4, на 0,7 и на 0,9 т/га (на 42,3,

21,3 и 27,2 %) относительно контроля. В 2024 г. урожайность возрастала в вариантах с обработкой *B. licheniformis* ВКПМ В-10561, В-10563 и В-10564, увеличение на 0,5–0,7 т/га (на 23,3, 23,0 и 35,3 %) относительно контроля.

В среднем за два года наблюдений доказано увеличение урожайности во всех вариантах с предпосадочной обработкой бактериальными штаммами на 0,3–1,0 т/га. В частности, под влиянием штамма *B. licheniformis* ВКПМ В-10561 на 35 %, при 2,7 т/га в контрольном варианте, *B. licheniformis* ВКПМ В-10562 – на 16 %, *B. licheniformis* ВКПМ В-10563 – на 10 % и *B. licheniformis* ВКПМ В-10564 – на 30 %. Эффективность бактериальных штаммов превосходила действие эталонного препарата Феникс, 0,05 % во всех опытных вариантах.

По результатам 3-летнего изучения влияния штаммов бактерий *B. licheniformis* можно констатировать наличие стимулирующего влияния на адаптивные свойства и вегетативное размножение земляники у всех четырех изучаемых штаммов. Наибольшее ростостимулирующее, а также защитное действие против грибных инфекционных болезней оказывали штаммы *B. licheniformis* ВКПМ В-10563 и ВКПМ В-10564.

Наибольшая эффективность стимулирующего действия на продуктивность растений и урожайность плантации доказана при использовании штаммов *B. licheniformis* ВКПМ В-10561 и *B. licheniformis* ВКПМ В-10564, в вариантах применения которых урожайность возросла до уровня 3,5–3,6 т/га, статистически достоверно ($P < 0,05$) выше, чем в других вариантах опыта.

ВЫВОДЫ

1. В производственном эксперименте в 2022–2024 гг. доказано наиболее эффективное стимулирование адаптивных свойств и вегетативного размножения растений земляники под влиянием

предпосадочной обработки корневой системы саженцев штаммами бактерий *B. licheniformis* ВКПМ В-10561, ВКПМ В-10562, ВКПМ В-10563 и ВКПМ В-10564 в концентрациях 1×10^5 КОЕ/мл. Приживаемость растений увеличивалась на 13–17 % относительно контроля. Количество дочерних розеток у продуктивных растений возрастало на 33–58 %, до уровня 4,8–5,7 розеток/растение.

2. Наибольшее ростостимулирующее, а также защитное действие против грибных болезней оказывали штаммы *B. licheniformis* ВКПМ В-10563 и ВКПМ В-10564. Количество листьев у одного растения увеличивалось на 14–21 %, биомасса

одного растения – на 42–48 %, длина корней – на 10–16 % относительно контроля. Против белой пятнистости листьев, фузариоза и вертициллеза штаммы действовали с биологической эффективностью от 41 до 81 %.

3. Стимулирование урожайности доказано во всех вариантах с предпосадочной обработкой бактериальными штаммами на 0,3–1,0 т/га. Под влиянием штамма *B. licheniformis* ВКПМ В-10561 урожайность увеличивалась на 35 % при 2,7 т/га в контрольном варианте, ВКПМ В-10562 – на 16 %, ВКПМ В-10563 – на 10 % и ВКПМ В-10564 – на 30 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Ч. I. Пестициды. Министерство сельского хозяйства РФ. – М., 2023. – 945 с.
2. Биопрепараты на основе бактерий рода *Bacillus* для управления здоровьем растений: монография / М.В. Штерншис, А.А. Беляев, В.П. Цветкова [и др.]; М-во сельского хоз-ва РФ, Новосибирский государственный аграрный ун-т. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. – 233 с.
3. *Miljakovic D., Marinkovic J., Balesevic-Tubic S.* The significance of *Bacillus* spp. in disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops // *Microorganisms*. – 2020. – Vol. 8. – P. 1037.
4. Первичный скрининг бактериальных штаммов антагонистов из коллекции лаборатории биометода ВНИИМК к возбудителю фомоза подсолнечника (часть 2) / Л.В. Маслиенко, А.Х. Воронкова, Л.А. Даценко [и др.] // *Масличные культуры*. – 2020. – Вып. 3 (183). – С. 107–113.
5. Сидорова Т.М., Астурова А.М., Аллахвердян В.В. Особенности антагонизма бактерий рода *Bacillus* по отношению к токсиногенным грибам *Fusarium* при защите растений от болезни и контаминации микотоксинами (обзор) // *Юг России: экология, развитие*. – 2021. – Т. 16, № 4. – С. 86–103.
6. Ласточкина О.В. Адаптация и устойчивость растений пшеницы к засухе, опосредованная природными регуляторами роста *Bacillus* spp.: Механизмы реализации и практическая значимость // *Сельскохозяйственная биология*. – 2021. – Т. 56, № 5. – С. 843–867.
7. Якуба Г.В., Маслиенко Л.В., Гусин Д.Н. Перспективные микробиологические препараты для защиты яблони от парши // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. – 2013. – № 22(4). – С. 81–88.
8. Применение бактериальных биопрепаратов серии Фитоп при промышленном выращивании садовой земляники / А.А. Беляев, А.И. Леляк, А.А. Леляк [и др.] // *Достижения науки и техники АПК*. – 2017. – № 5. – С. 20–23.
9. Стольникова Н.П., Лутов В.И. Промышленная культура земляники в Сибири: монография. – Новосибирск, 2009. – 207 с.
10. Методика выявления и учета болезней плодовых и ягодных культур. – М.: Колос, 1971. – 23 с.
11. Чумаков А.Е., Захарова Т.И. Вредоносность болезней сельскохозяйственных культур. – М.: Агропромиздат, 1990. – 127 с.
12. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. – Орел, 1999. – 606 с.
13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студ. высш. с.-х. учеб. завед. по агр. спец. – М., 2013. – 349 с.
14. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. – 2-е изд. – Красноярск: ГУП РПО СО РАСХН, 2009. – 222 с.
15. Патогенные свойства возбудителей и поражение сортов земляники микозами корневой системы / А.А. Беляев, Р.Р. Колоколов, О.А. Казакова, В.И. Лутов // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2023. – № 4. – С. 5–13.

REFERENCES

1. *Gosudarstvennyj katalog pesticidov i agrohikmatov, razreshennyh k primeneniju na territorii Rossijskoj Federacii. Part I. Pesticidy* (State catalog of pesticides and agrochemicals, approved for use on the territory of the Russian Federation. Part I. Pesticides), Ministerstvo sel'skogo hozjajstva RF, Moscow, 2023, 945 p. (In Russ.)

2. Shternshis M.V., Belyaev A.A., Cvetkova V.P., Shpatova T.V., Leljak A.A., Bahvalov S.A., *Biopreparaty na osnove bakterij roda Bacillus dlja upravlenija zdorov'em rastenij* (*Bacillus*-based biological products for plant health management), Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN, 2016, 233 p.
3. Miljakovic D., Marinkovic J., Balesevic-Tubic S., The significance of *Bacillus* spp. in disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops, *Microorganisms*, 2020, Vol. 8, pp. 1037.
4. Maslienko L.V., Voronkova A.H., Dacenko L.A., Efimceva E.A., Punogina D.A., Gajdukova S.A., Kazakova V.V., Kovaleva S.R., *Maslichnye kul'tury*, 2020, Vol. 3, No. 183, pp. 107–113. (In Russ.)
5. Sidorova T.M., Asturova A.M., Allahverdjian V.V., *Jug Rossii: jekologija, razvitie*, 2021, Vol. 16, No. 4, pp. 86–103. (In Russ.)
6. Lastochkina O.V., *Sel'skhozjajstvennaja biologija*, 2021, Vol. 56, No. 5, pp. 843–867. (In Russ.)
7. Jakuba G.V., Maslienko L.V., Gusin D.N., *Plodovodstvo i vinogradarstvo Juga Rossii*, 2013, Vol. 22, No. 4, pp. 81–88. (In Russ.)
8. Beljaev A.A., Leljak A.I., Leljak A.A., Nevolin S.V., Shpatova T.V., Shahristova A.A., Judushkin V.V., *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 2017, No. 5, pp. 20–23. (In Russ.)
9. Stol'nikova N.P., Lutov V.I., *Promyshlennaya kul'tura zemlyaniki v Sibiri* (Industrial culture of strawberries in Siberia), NGAU. NIIS im. M.A. Lisavenko, Novosibirsk, 2009, 207 p.
10. *Metodika vyjavlenija i ucheta boleznej plodovyh i jagodnyh kul'tur* (Methodology for detecting and recording diseases of fruit and berry crops), Moscow: Kolos, 1971, 23 p. (In Russ.)
11. Chumakov A.E., Zaharova T.I., *Vredonosnost' boleznej sel'skhozjajstvennyh kul'tur* (Harmfulness of crop diseases), Moscow: Agropromizdat, 1990, 127 p.
12. *Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kul'tur* (Program and methodology for variety study of fruit, berry and nut crops), Orel, 1999, 606 p.
13. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta: s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovanii* (Field experience methodology: with the basics of statistical processing of research results), Moscow, 2013, 349 p.
14. Sorokin O.D., *Prikladnaya statistika na komp'yutere* (Applied statistics on the computer), Krasnoobsk: GUP RPO SO RASKhN, 2009, 222 p.
15. Beljaev A.A., Kolokolov R.R., Kazakova O.A., Lutov V.I., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2023, No. 4, pp. 5–13. (In Russ.)

Информация об авторах:

Р.Р. Колоколов, аспирант

А.А. Беляев, доктор сельскохозяйственных наук, доцент

Contribution of the authors:

R.R. Kolokolov, Postgraduate Student

A.A. Belyaev, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-75-2-46-60
УДК 582.776.6 : [631.529 +631.527.8] (57/1)

ОЦЕНКА ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА КЛАРКИИ (*CLARKIA PURSH*) ПО СЕЛЕКЦИОННО ЦЕННЫМ ХОЗЯЙСТВЕННО-БИОЛОГИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ В УСЛОВИЯХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Е.В. Королева

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: coroleva-nsk@yandex.ru

Для цитирования: Королева Е.В. Оценка исходного материала кларкии (*Clarkia pursh*) по селекционно ценным хозяйственно-биологическим признакам в условиях юга Западной Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 46–60. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-46-60.

Ключевые слова: *Clarkia*, *Godetia*, *Rhodanthos*, *Phaeostoma* температурные границы вида, селекция, исходный материал, хозяйственно-биологические признаки, декоративность, продолжительность цветения, жизнеспособность пыльцы и семян, масса 1000 семян, кластерный анализ.

Реферат. Представлена оценка хозяйственно-биологической ценности сортов декоративных однолетних травянистых растений *Clarkia Pursh* по комплексу признаков, важных для разных направлений селекции этой культуры на юге Западной Сибири. Схема опыта включала 20 вариантов в четырех повторностях. В опыт были включены 5 новых отечественных сортов, созданных автором на базе Новосибирского ГАУ (55°01' с.ш. 82°55' в.д.). Первый отечественный сорт *Clarkia purpurea* (Curtis) A. Nelson & J.F. Macbr. 'Лиловая Фея' отличался ранним сроком цветения (через 42±1 сут от всходов), Cv = 4,0 %, коротким вегетационным периодом 102±2 сут, высокой семенной продуктивностью (массой 1000 семян = 0,73±0,004 и массой семян с одного растения = 5,5±0,02 г), жизнеспособностью пыльцы 82 %, завязываемостью плодов 93 % и коэффициентом семенной продуктивности (КСП) 83 %, а также высокой лабораторной всхожестью семян. Среди образцов кларкии были выявлены источники пяти разных сроков цветения: 1) 15 % – раннего цветения; 2) 15 % – среднераннего цветения; 3) 20 % – среднего цветения; 4) 40 % – среднепозднего цветения; 5) 10 % – позднего цветения. Впервые в климатических условиях юга Западной Сибири для трех видов кларкии установлены температурные границы прохождения межфазных периодов по сумме активных температур выше 10 °C: *S. purpurea* требовалась наименьшая сумма активных температур выше 10 °C ($Q_1 = 801$ °C – $Q_3 = 1723$ °C), со средним значением 1234 °C. Выявлены источники обилия цветения. Авторские сорта отличались высокими посевными качествами семян. Установлена прямая зависимость КСП от жизнеспособности пыльцы ($r = 0,99$, $p < 0,05$). Самой высокой семенной продуктивностью отличались ранние сорта кларкии – *S. purpurea* (5,5 г) и *S. linguiculata* (3,8 г). Таким образом, комплексная оценка образцов кларкии послужила базой для разработки национальной методики RTG/1157/1 проведения испытаний на ООС *Clarkia Pursh*, позволила выявить источники селекционно ценных хозяйственно-биологических признаков и создать фонд оригинальных семян, обеспечивающий направления дальнейшей селекционной работы и размножения перспективных образцов для дальнейшего внедрения их в производство и озеленение региона.

ASSESSMENT OF THE SOURCE MATERIAL OF CLARKIA PURSH BY BREEDING VALUABLE ECONOMIC AND BIOLOGICAL CHARACTERISTICS IN THE CONDITIONS OF THE SOUTH WESTERN SIBERIA

E.V. Koroleva

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: coroleva-nsk@yandex.ru

Keywords: *Clarkia*, *Godetia*, *Rhodanthos*, *Phaeostoma*, temperature limits of the species, breeding, source material, economic and biological characteristics, decorativeness, duration of flowering, viability of pollen and seeds, weight of 1000 seeds, cluster analysis.

Abstract. An assessment of the economic and biological value of *Clarkia Pursh* varieties of ornamental annual herbaceous plants is presented based on a set of characteristics important for different areas of breeding of this crop in the south of Western Siberia. The scheme of the experiment included 20 variants, in 4 repetitions. The

experiment included 5 new domestic varieties created by the author on the basis of the Novosibirsk State Agrarian University (55°01' s. 82°55' w.d.). The first domestic variety is *Clarkia purpurea* (Curtis) A. Nelson & J.F. Macbr. The Purple Fairy was characterized by an early flowering period (42±1 day after germination), Cv = 4,0 %, a short growing season of 102±2 days, high seed productivity (1000 seeds = 0,73±0,004 and seeds from one plant = 5,5±0.02 g), and pollen viability – 82 %, fruit setting – 93 % and seed productivity coefficient (KSP) – 83 % and high 100 % laboratory germination of seeds. Among the clarkia samples, sources of five different flowering periods were identified: 1) 15 % – early flowering; 2) 15 % – mid-early flowering; 3) 20 % – medium flowering; 4) 40 % – mid-late blooming; 5) 10 % – late blooming. For the first time in the climatic conditions of the south of Western Siberia, temperature limits for the passage of interphase periods were established for 3 *Clarkia* species according to the sum of active temperatures above 10°C: *C. purpurea* required the smallest sum of active temperatures above 10°C ($Q1=801^{\circ}\text{C} - Q3=1723^{\circ}\text{C}$), with an average value of 1234°C. The sources of the abundance of flowering have been identified. The author's varieties were distinguished by high seed qualities. A direct dependence of the seed productivity coefficient on the viability of pollen has been established ($r = 0.99, p < 0.05$). The early clarkia varieties, *C. purpurea* (5.5 g) and *C. unguiculata* (3.8 g), had the highest seed productivity. Thus, a comprehensive assessment of *Clarkia* samples served as the basis for the development of the national methodology RTG/1157/1 for conducting tests on *Clarkia Pursh* environmental protection systems, made it possible to identify sources of selectively valuable economic and biological traits and create a fund of original seeds that provides directions for further breeding and reproduction of promising samples for their further implementation in the production and landscaping of the region.

Для внедрения в озеленение юга Западной Сибири перспективных декоративно-цветущих калифорнийских однолетних травянистых видов кларкии (*Clarkia Pursh*) из семейства кипрейных (Onagraceae Juss.) необходимо проведение исследований по изучению ее генофонда и оценке новых селекционных образцов по комплексу ценных хозяйственно-биологических признаков.

Род *Clarkia Pursh* разбит на 8 секций и 10 подсекций и включает 42 вида. В декоративном садоводстве распространены следующие виды кларкии: *C. amoena* (Lehm.) A. Nelson & J.F. Macbr. (= *Godetia amoena* (Lehm.) G. Don) и *C. amoena* ssp. *lindleyi* (Douglas) H. Lewis & M.E. Lewis (= *C. amoena* var. *lindleyi* (Douglas) C.L. Hitchcock, *Godetia amoena* var. *lindleyi* (Douglas) Jepson), относящиеся к секции *Rhodanthos* (Fischer & C.A. Meyer) P.H. Raven и подсекции *Primigenia* H. Lewis & M.E. Lewis с гаплоидным числом хромосом ($n = 7$); *C. unguiculata* Lindl. (= *C. elegans* Douglas ex Lindl., *Phaeostoma douglasii* Spach, *C. eiseneana* Kellogg, *Phaeostoma elegans* A. Nelson, *Oenothera elegans* E.H.L. Krause), относящаяся к секции *Phaeostoma* (Spach) H. Lewis & M.E. Lewis и подсекции *Phaeostoma* с гаплоидным числом хромосом ($n = 9$) [1– 6].

Представители этих видов кларкии могут использоваться для разных направлений селекции: для оформления различных цветников, контейнерного цветоводства и для срезки, а также семеноводства [7–10].

Ценные хозяйственно-биологические признаки, такие как обильность цветения (число соцветий/число цветков в соцветии), время и

продолжительность цветения [12], длина вегетационного периода [13, 14], семенная продуктивность, устойчивость к болезням и вредителям и устойчивость окраски лепестков цветка к выгоранию на солнце [15, 16], являются важными селекционными параметрами при оценке декоративных качеств цветочных культур, а также наиболее значимы для определения направления селекции [17, 18].

Поэтому экономически выгодно производство собственных семян перспективных летников, обладающих высокими сортовыми и посевными качествами, соответствующими почвенно-климатическим условиям юга Западной Сибири [11].

Цель работы – пополнение регионального ассортимента декоративных травянистых однолетних растений новыми видами на основе их интродукционного изучения и селекции. В задачи исследования входили оценка образцов коллекционного генофонда *Clarkia Pursh* (рабочая коллекция) в условиях юга Западной Сибири по комплексу селекционно ценных хозяйственно-биологических признаков и выделение сортов-источников перспективных для разных направлений селекции и городского озеленения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение селекционно ценных хозяйственно-биологических признаков кларкии проводили в условиях открытого грунта на участке сортоизучения рабочей коллекции кларкии, ее

интродукции и селекции, расположенном на территории учебно-производственного хозяйства «Сад Мичуринцев» (ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ) в черте г. Новосибирска (55°01' с.ш. 82°55' в.д.) по методике первичного сортоизучения цветочных культур [19] и национальной методике RTG/1157/1 проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность сортов кларкии (*Clarkia Pursh*), впервые разработанной автором на базе ФГБОУ ВО Новосибирского ГАУ [8] и утвержденной Госсортокомиссией РФ в 2023 г. [20]. Фенологические наблюдения проводили согласно методике И.Н. Бейдеман (1974) [21]. Качество семенного материала определяли согласно ГОСТ 24933.0–81 и ГОСТ 12260–81 [22, 23], используя методические подходы изучения репродукционных систем Л.Л. Еременко (1977), Р.Е. Левиной (1981), методические указания по семеноведению интродуцентов (1980) и К.Г. Ткаченко (2019, 2020, 2021, 2022) [24–30]. Жизнеспособность пыльцы определяли по способу (патент РФ № 2825471) [31], основанному на методах, разработанных Ю.В. Фотевым на овощных интродуцентах [32–34].

Для статистической обработки данных использовали регрессионный и кластерный анализы (метод Ward), на базе программного обеспечения Microsoft Excel 2007, Minitab 14.

Схема опыта включала 20 вариантов, 75 % из которых – сорта зарубежной селекции (США, Великобритания, Нидерланды) в четырех повторностях. В опыт были включены 5 новых отечественных сортов, созданных автором на базе Новосибирского ГАУ и включенных в реестр

селекционных достижений РФ, 2 из которых (‘Малиновая Чаша’ и ‘Лиловая Фея’) включены в методику RTG/1157/1 испытаний на ООС Кларкия [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При посеве рабочей коллекции кларкии 16–17 мая массовые всходы в среднем появлялись через 7–12 сут, массовая бутонизация раньше всех, через 40±1 сут начиналась у растений нового для юга Западной Сибири вида кларкии пурпурной *Clarkia purpurea* (Curtis) A. Nelson & J.F. Macbr (= *Godetia purpurea* (Curtis) G. Don), относящейся к секции *Godetia* (Spach) H. Lewis & M.E. Lewis с гаплоидным числом хромосом ($n = 26$) [3] и ее первого отечественного сорта ‘Лиловая Фея’, созданного автором (патент РФ на селекционное достижение № 13350, 08.02.2024) [8], затем через 42–48 сут, в среднем через 44±2 сут у сортов кларкии ноготковой (*C. unguiculata*) и позже всех, в среднем через 57–61±3 сут она наступала у образцов *C. amoena* и *C. amoena* ssp. *lindleyi* соответственно.

Одним из показателей хозяйственно-биологической ценности сортов кларкии являются сроки начала цветения и продолжительность периода декоративности – периода от начала цветения до его окончания, длина вегетационного периода, а также число боковых цветоносов, число цветков в соцветии, жизнеспособность пыльцы, семенная продуктивность и всхожесть семян (табл. 1).

Таблица 1

Оценка ценных хозяйственно-биологических признаков образцов кларкии из коллекционного генофонда НГАУ, средние значения за 2021–2023 гг.
Evaluation of valuable economic and biological characteristics of clarkia samples from the NSAU collection gene pool, average values for 2021–2023.

№ п/п	Образец кларкии	Посев-всходы (НВ**)	НВ-начало цветения (НЦ)	НЦ-окончание цветения (ОЦ)	НВ-начало созревания (НС)	Вегетационный период (ВП)	Число боковых цветоносов***	Число цветков на главной кисти	Масса 1000 семян, г	Выход семян с растения	Всхожесть, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>C. amoena</i> , * <i>C. amoena</i> ssp. <i>lindleyi</i> (секц. <i>Rhodanthos</i>)											
1	Красавица	7	57	66	97	123	16	8	0,42	2,96	96
2	Малиновая Чаша	7	54	66	94	120	16	8	0,43	3,03	98
3	Герцогиня	7	62	61	104	123	14	11	0,41	2,88	88

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	Оранжевое Сияние	11	63	57	105	120	11	8	0,34	2,09	86
5	Сладкие Сердечки	11	62	58	103	120	9	9	0,24	2,53	87
6	*Белёсая	11	64	55	104	119	16	10	0,26	2,01	87
7	*Фарфоровая Чаша	10	65	56	106	121	16	9	0,39	4,05	96
8	*Сибил Шервуд	10	58	63	99	121	14	10	0,42	3,25	88
9	*Персиковая Чаша	8	60	63	100	123	14	8	0,44	3,36	86
10	*Вейсер Страус	11	68	51	109	119	16	10	0,35	2,53	86
11	*Герцог Йоркский	10	62	57	102	119	12	9	0,47	3,30	89
12	*Катлея	11	62	57	102	119	12	8	0,32	2,03	78
13	*Метеор	11	63	56	104	119	14	8	0,36	2,65	79
14	*Рембрандт	11	70	49	110	119	17	11	0,24	2,24	86
<i>C. purpurea</i> (секц. <i>Godetia</i>)											
15	Лиловая Фея	7	42	60	78	102	25	12	0,73	5,50	100
<i>C. unguiculata</i> (секц. <i>Phaeostoma</i>)											
16	Пурпурная	7	44	80	88	124	31	28	0,30	3,64	87
17	Коралловые Рифы	7	43	82	87	125	47	34	0,34	4,04	98
18	Сакура	11	47	73	90	120	41	25	0,25	2,55	84
19	Рубиновая	11	46	75	88	121	32	25	0,29	3,31	85
20	Альбина	10	49	72	93	121	42	23	0,23	2,92	79
Cv %		18,9	4,8	15,2	3,4	1,5	17,8	14,3	1,8	27,5	7,7

Примечания: * сорта кларкии, принадлежащие подвиду *C. amoena* ssp. *lindleyi* (секц. *Rhodanthos*);
 ** НВ – начало вегетации;
 *** число продуктивных боковых цветоносов: для *C. amoena* и *C. purpurea* – это побеги II порядка, а для *C. unguiculata* – побеги II, III и IV порядков.

Самое раннее цветение, через 42 ± 1 сут (05.07) от начала вегетации ($Cv = 4,0 \%$) было отмечено у образца первого в России сорта *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’, позже на 2 сут оно наступало у сортов *C. unguiculata* ‘Пурпурная’ и авторского нового сорта ‘Коралловые Рифы’ (Патент РФ на селекционное достижение № 13359, 08.02.2024), а в среднем образцы этого вида цвели позже на 4 ± 2 сут и на 12–14 сут позже цветение начиналось у авторского сорта *C. amoena* ‘Малиновая Чаша’ (Патент РФ на селекционное достижение № 13349, 08.02.2024) и его родительского сорта ‘Красавица’ (Свидетельство РФ № 33756, 31.12. 1999), самое позднее цветение наблюдалось у сортов вида *C. amoena* и подвида *C. amoena* ssp. *lindleyi*, в среднем на $18–21 \pm 3$ сут позже,

при незначительной вариации этого признака, в среднем ($Cv = 4,8 \%$).

С помощью кластерного анализа по методу Варда (Ward) среди образцов коллекционного генофонда кларкии по календарным срокам прохождения девяти межфазных периодов (начала вегетации, начала бутонизации, массовой бутонизации, начала цветения, массового цветения, продолжительности периода цветения, начала созревания семян, массового созревания семян, вегетационного периода) были выявлены достоверные различия, которые стали основой для распределения сортов по срокам зацветания в методике RTG/1157/1 проведения испытаний на ООС Кларкия (*Clarkia Pursh*) [8] (рис. 1).

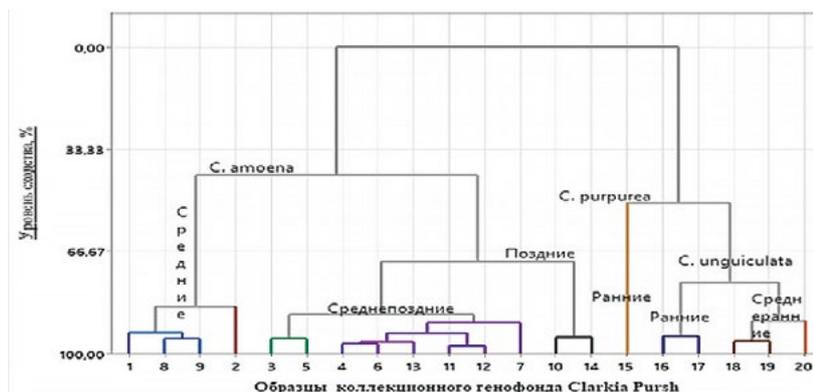


Рис. 1. Дендрограмма сходства образцов кларкии по продолжительности межфазных периодов, относящихся к разным видам (2021–2023), мера измерения – евклидово расстояние (ed): *C. amoena* и *C. amoena* ssp. *lindleyi*: 1 – ‘Красавица’, 2 – ‘Малиновая чаша’, 3 – Герцогиня, 4 – ‘Оранжевое Сияние’, 5 – ‘Сладкие Сердечки’, 6 – ‘Белесая’, 7 – ‘Фарфоровая Чаша’, 8 – ‘Сибил Шервуд’, 9 – ‘Персиковая Чаша’, 10 – ‘Вейсер Страус’, 11 – ‘Герцог Йоркский’, 12 – ‘Каттля’, 13 – ‘Метеор’, 14 – ‘Рембрандт’; *C. purpurea*: 15 – ‘Лиловая Фея’; *C. unguiculata*: 16 – ‘Пурпурная’, 17 – ‘Коралловые Рифы’, 18 – ‘Сакура’, 19 – ‘Рубиновая’, 20 – ‘Альбина’

Dendrogram of similarity of *Clarkia* samples by the duration of interphase periods belonging to different species (2021–2023), the measurement unit is Euclidean distance (ed)

По срокам зацветания сорта распределились на пять групп:

- 1) ранние сорта *C. purpurea* и *C. unguiculata* (42–45 сут от всходов), составляющие 15 % от общего числа;
- 2) среднеранние сорта *C. unguiculata* (46–50 сут от всходов) – 15 %;
- 3) средние сорта *C. amoena* и *C. amoena* ssp. *lindleyi* (51–61 сут от всходов) – 20 %;
- 4) среднепоздние сорта *C. amoena* и *C. amoena* ssp. *lindleyi* – самая многочисленная группа 40 %;

5) поздние сорта *C. amoena* ssp. *lindleyi* – 10 %.

При оценке декоративных культур особое значение имеет продолжительность цветения растений или период их декоративности. Чем раньше наступает цветение, особенно в климатических условиях юга Западной Сибири, тем более ценными и конкурентными качествами будут обладать сорта кларкии для городского озеленения (рис. 2).

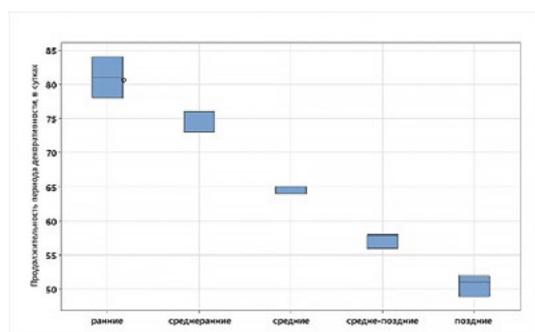


Рис. 2. Продолжительность периода цветения в сутках у сортов *Clarkia Pursh* в зависимости от сроков зацветания на юге Западной Сибири (55°01' с.ш. 82°55' в.д.)

Duration of flowering period in days for *Clarkia Pursh* varieties depending on flowering time in the south of Western Siberia (55°01' N 82°55' E)

Ранние сорта *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’ и *C. unguiculata* ‘Коралловые Рифы’ и ‘Пурпурная’ незначительно различались по срокам начала цветения, но сильно различались по продолжительности цветения. У ранних сортов *C. unguiculata* этот период длился, в среднем на 6 сут больше,

чем у среднеранних сортов: ‘Альбина’, ‘Рубиновая’ и ‘Сакура’ (75±1) на 21 сут больше, чем у *C. purpurea* (60±0,7).

Продолжительность периода цветения до потери декоративности у сортов *C. amoena* и *C. amoena* ssp. *lindleyi* среднего срока цветения

в среднем составляла $65 \pm 0,33$ сут, что на 8 сут больше, чем у среднепоздних сортов и на 16 сут меньше, чем у ранних сортов *C. unguiculata*.

Самый короткий период декоративности наблюдался у поздних сортов *C. amoena* ssp. *lindleyi*, который в среднем составил – 50 сут и был короче на 10 сут, чем у *C. purpurea*, и на 31 сут, чем у ранних сортов *C. unguiculata*.

Сорта кларкии *Clarkia* Pursh, созданные автором на юге Западной Сибири относятся: два – к раннему сроку цветения: ‘Лиловая Фея’ (патент РФ на селекционное достижение № 13350, 08.02.2024 с датой приоритета 30.11.2021) и ‘Коралловые Рифы’ (патент РФ на селекционное достижение № 13359, 08.02.2024 с датой приоритета 25.11.2022); два – к среднему сроку цветения: ‘Малиновая Чаша’ (патент РФ на селекционное достижение № 13349, 08.02.2024 с датой приоритета 30.11.2021) и ‘Персиковая Чаша’ (патент РФ на селекционное достижение № 3357, 08.02.2024, с датой приоритета 25.11.2022); один – к средне-позднему сроку цветения ‘Фарфоровая Чаша’ (патент на селекционное достижение № 13358, 08.02.2024 с датой приоритета 25.11.2022).

Созревание семян у видов кларкии из коллекционного генофонда НГАУ проходит параллельно с фазой массового цветения и завязывания плодов,

которое происходит через 2–3 сут после полного раскрытия цветка и попадания жизнеспособной пыльцы на рыльце пестика.

У первого в России сорта *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’ в условиях юга Западной Сибири раньше всех отмечали начало созревания семян, в среднем через 78 ± 2 сут (10.08) от появления всходов, на 11 сут позже отмечали созревание семян у образцов *C. unguiculata* и позже всех на $22\text{--}25 \pm 4$ сут (01.09). Созревание семян у всех видов кларкии отмечали в среднем через 30 сут от даты массового цветения при незначительной вариации ($C_v = 3,4\%$).

Самый короткий вегетационный период (от всходов до созревания семян и уборки) – 102 ± 2 сут был отмечен у нового интродукта для юга Западной Сибири *C. purpurea* и в среднем длиннее на 18–20 сут он был у образцов *C. amoena* и *C. unguiculata* при незначительной вариации [35].

На репродукционную систему видов и сортов кларкии при прохождении пяти межфазных периодов (НВ–НЦ, НВ–МЦ, НВ–НС, НЦ–ОЦ, ВП) в климатических условиях юга Западной Сибири сильно влияет сумма активных температур выше 10°C (рис. 3).

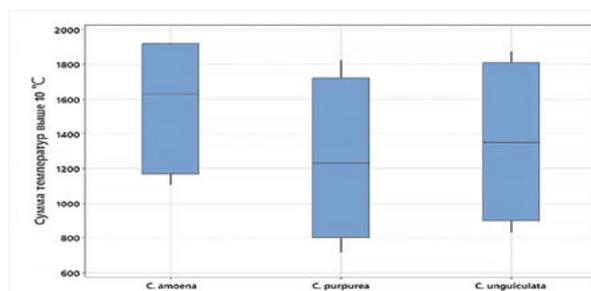


Рис. 3. Температурные границы прохождения межфазных периодов у видов кларкии (*Clarkia* Pursh) ($55^\circ 01' \text{ с.ш. } 82^\circ 55' \text{ в.д.}$) при $p < 0,05$

Temperature boundaries of interphase periods in *Clarkia* species (*Clarkia* Pursh) ($55^\circ 01' \text{ N } 82^\circ 55' \text{ E}$), at $p < 0.05$

Впервые в условиях юга Западной Сибири для видов кларкии установлены температурные границы прохождения межфазных периодов развития до полного созревания семян. Первому отечественному сорту *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’ требовалась наименьшая сумма активных температур выше 10°C ($Q_1 = 801^\circ\text{C} - Q_3 = 1\,723^\circ\text{C}$), со средним значением $1\,234^\circ\text{C}$. Самые высокие суммы температур выше 10°C при прохождении межфазных периодов требовались образцам, относящимся к виду и подвиду *C. amoena* ($Q_1 = 1\,170^\circ\text{C} - Q_3 = 1\,920^\circ\text{C}$), со средним зна-

чением $1\,634^\circ\text{C}$, а образцам *C. unguiculata* требовалось в среднем сумма температур выше $10^\circ\text{C} = 1\,351^\circ\text{C}$ с температурными границами ($Q_1 = 896^\circ\text{C} - Q_3 = 1\,811^\circ\text{C}$), что в среднем ниже на 283°C , чем у *C. amoena* и выше на 117°C , чем у *C. purpurea*.

Таким образом, для цветения и созревания семян образцам кларкии *C. unguiculata* (секц. *Phaeostoma*), *C. purpurea* (секц. *Godetia*) и *C. amoena* (секц. *Rhodanthos*) из рабочей коллекции НГАУ в климатических условиях юга Западной Сибири было достаточно суммы актив-

ных температур выше 10 °С. И согласно шкалам И.В. Верещагиной (1968) и О.А. Пасько (2000) новый интродуцент *C. purpurea* можно отнести к первой группе декоративных летников, заканчивающих вегетацию с полным вызреванием семян [36, 37].

Также была выявлена сильная зависимость между суммой активных температур выше 10 °С и продолжительностью межфазных периодов у видов *Clarkia* (табл. 2).

Таблица 2

Корреляционная зависимость продолжительности межфазных периодов от суммы активных температур выше 10 °С за 2021–2023 гг. (средние значения по трем видам *Clarkia Pursh*)
Correlation dependence of the duration of interphase periods on the sum of active temperatures above 10 °С for 2021–2023 (average values for three species of *Clarkia Pursh*)

Межфазный период	Сумма температур выше 10 °С (НВ–НЦ)	НВ–НЦ	Сумма температур выше 10 °С (НВ–МЦ)	НВ–МЦ	Сумма температур выше 10 °С (НВ–НС)	НВ–НС	Сумма температур выше 10 °С (ВП)
НВ–НЦ	0,997						
Сумма температур выше 10 °С (НВ–МЦ)	0,984	0,995					
НВ–МЦ	1,00	0,998	0,987				
Сумма температур выше 10 °С (В–НС)	0,993	0,981	0,956	0,999			
НВ–НС	1,00	0,995	0,980	0,999	0,995		
Сумма температур выше 10 °С (ВП)	0,968	0,945	0,907	0,962	0,991	0,973	
ВП	0,697	0,638	0,557	0,681	0,777	0,711	0,855

Примечание. коэффициенты корреляции значимы при $p < 0,05$.

Высокие значения коэффициентов корреляции (от $r = 0,557$ до $r = 1,0$, $p < 0,05$) показывают сильную зависимость трех различных видов кларкии от суммы активных температур выше 10 °С во все периоды развития, от начала вегетации до окончания. Самые высокие коэффициенты корреляции ($r = 1,0$, $p < 0,05$) наблюдались в периоды от начала вегетации до массового цветения и начала созревания семян. Начало цветения и наступление фазы массового цветения зависели от темпера-

турных условий периодов формирования бутонов и начала цветения ($r = 1,0$). Продолжительность вегетационного периода сильно зависела от температурного фактора ($r = 0,855$, $p < 0,05$).

Зависимость развития видов кларкии от обеспеченности вегетационного периода от начала вегетации до созревания семян и уборки суммой температур выше 10 °С хорошо демонстрирует графики линейной регрессии (рис. 4).

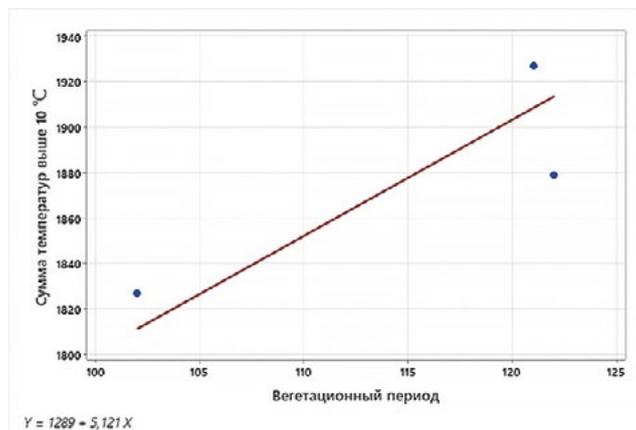


Рис. 4. Линия регрессии зависимости продолжительности вегетационного периода у видов кларкии от суммы температур выше 10 °С

Regression line of the dependence of the duration of the growing season in *Clarkia* species on the sum of temperatures above 10 °С

Это выражается следующим линейным уравнением регрессии: $Y = 1\,289 + 5,12x$,

$r = 0,855$, где Y – сумма активных температур выше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а x – продолжительность вегетационного периода.

Важными селекционно ценными хозяйственно-биологическими признаками и параметрами декоративности и обилия цветения у кларкии являются: число боковых цветоносов и число цветков в соцветии. Для ранжирования образцов кларкии по числу боковых побегов (цветоносов) разных порядков ветвления – признак № 8 главный стебель: ветвление (методика RTG/1157/1) был проведен кластерный анализ по методу Варда (Ward), который выявил следующие сорта – источники разной степени ветвления и обилия цветения:

1. Слабое ветвление – 6–12 боковых цветоносов: ‘Герцог Йоркский’, ‘Каттлея’. ‘Оранжевое сияние’, ‘Сладкие Сердечки’.

2. Среднее ветвление – 13–20 боковых цветоносов – 50 % образцов коллекционного генофонда: ‘Белесая’, ‘Вейсер Страус’, ‘Герцогиня’, ‘Красавица’, ‘Малиновая Чаша’, ‘Метеор’, ‘Персиковая Чаша’, ‘Сибил Шервуд’, ‘Рембрандт’, ‘Фарфоровая Чаша’.

3. Сильное ветвление – 21–30 – *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’.

4. Очень сильное ветвление – 31 и более латеральных цветоносов II, III и IV порядков

образцы *C. unguiculata*: ‘Альбина’, ‘Пурпурная’, ‘Рубиновая’, ‘Сакура’ и ‘Коралловые Рифы’, составляющие 25 % популяции.

По степени выраженности признака число цветков (признак 19 в методике RTG/1157/1 испытаний сортов кларкии на ООС), образцы кларкии распределились согласно следующим категориям: сорта *C. amoena*, включая подвид *C. amoena* ssp. *lindleyi* со средним количеством цветков (6–9): ‘Каттлея’, ‘Малиновая Чаша’, ‘Оранжевое Сияние’, ‘Сибил Шервуд’ ‘Сладкие Сердечки’, ‘Фарфоровая Чаша’; сорта имеющие «много цветков» (10–20): ‘Вейсер Страус’, ‘Герцогиня’, ‘Герцог Йоркский’ ‘Рембрандт’, ‘Сибил Шервуд’ и *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’; «очень много» (21 и более): образцы *C. unguiculata*: ‘Пурпурная’ и ‘Сакура’.

Семенная продуктивность и качество семенного материала у видов и сортов кларкии важны для размножения и сохранения биологической жизнеспособности, а также являются селекционно ценными и хозяйственно-биологическими признаками.

Различия по семенной продуктивности и лабораторной всхожести семян у образцов кларкии коллекционного генофонда НГАУ в период сортоиспытаний 2021–2023 гг. (средние значения) в местных климатических условиях продемонстрированы на рис. 5.

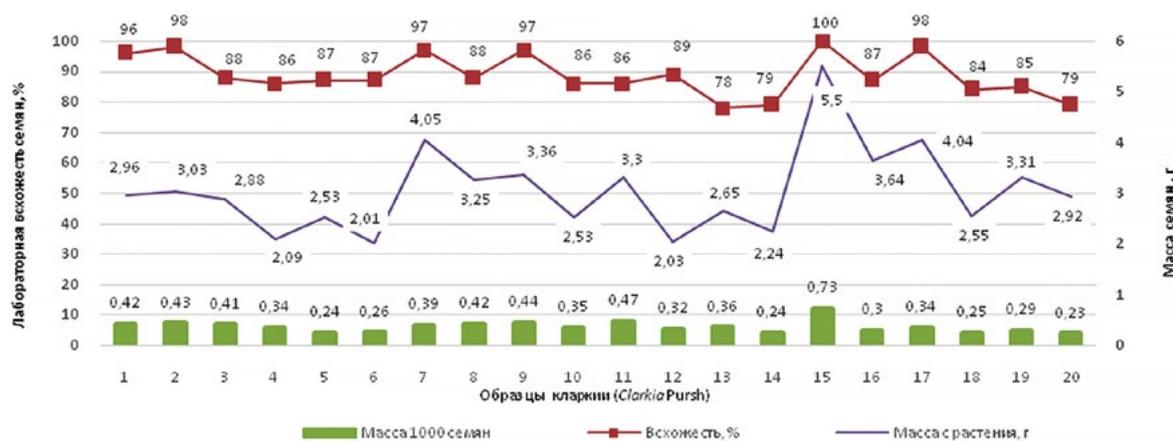


Рис. 5. Изменчивость семенной продуктивности и посевных качеств семян у видов и сортов кларкии (*Clarkia Pursh*), средние значения за три года (2021–2023):

1 – ‘Красавица’, 2 – ‘Малиновая Чаша’, 3 – Герцогиня, 4 – ‘Оранжевое Сияние’, 5 – ‘Сладкие Сердечки’, 6 – ‘Белесая’, 7 – ‘Фарфоровая Чаша’, 8 – ‘Сибил Шервуд’, 9 – ‘Персиковая Чаша’, 10 – ‘Вейсер Страус’, 11 – ‘Герцог Йоркский’, 12 – ‘Каттлея’, 13 – ‘Метеор’, 14 – ‘Рембрандт’, 15 – ‘Лиловая Фея’, 16 – ‘Пурпурная’, 17 – ‘Коралловые Рифы’, 18 – ‘Сакура’, 19 – ‘Рубиновая’, 20 – ‘Альбина’

Variability of seed productivity and sowing qualities of seeds in species and varieties of *Clarkia* (*Clarkia Pursh*), average values for 3 years (2021–2023)

Самые высокие показатели лабораторной всхожести семян в среднем за годы репродукции (2021–2023) наблюдались у авторских сортов, созданных в местных климатических условиях. У семян *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’ – 99–100 %, что не противоречило исследованиям ученых из Калифорнии [38]. У *C. amoena* ‘Малиновая Чаша’ лабораторная всхожесть составляла 98 %, у образцов *C. amoena* ssp. *lindleyi* ‘Персиковая чаша’ и ‘Фарфоровая чаша’ – 97 % и у *C. unguiculata* ‘Коралловые рифы’ – 98 %, в среднем на 10 % ниже была лабораторная всхожесть у репродуцированных на юге Западной Сибири зарубежных сортов кларкии.

Лабораторная всхожесть оригинальных семян кларкии зарубежной селекции у сортов *C. amoena*, включая сорта подвида *C. amoena* ssp. *lindleyi*, составляла 67 %, а у сортов *C. unguiculata* – 64 %. Семена этих образцов при репродукции в течение

трех лет на юге Западной Сибири повысили свои посевные качества в среднем на 22 %, по сравнению с оригинальными и были ниже авторских сортов на 10 %. Из этого следует, что 10-й Западно-Сибирский регион вполне подходит для элитного семеноводства этой культуры.

Масса 1 000 семян у образцов кларкии из коллекционного генофонда НГАУ варьировала в среднем за три года от $0,23 \pm 0,004$ г у *C. unguiculata* (секц. *Phaeostoma*) ‘Альбина’ ($C_v = 2,5$ %) до $0,73 \pm 0,004$ г ($C_v = 8$ %) у *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’ (секц. *Godetia*) и в среднем для образцов рода *Clarkia*, представленных в коллекции, составила $0,36$ г ($C_v = 30$ %) при $НСР_{0,5} = 0,024$ г.

Масса семян с растения варьировала в пределах от $2,01 \pm 0,03$ г у образца *C. amoena* ssp. *lindleyi* ‘Белесая’ до $5,5 \pm 0,02$ г *C. purpurea* ‘Лиловая Фея’ при $НСР_{0,05} = 0,13$ г (табл. 3).

Таблица 3

Результаты дисперсионного анализа коллекционного генофонда кларкии по ценным хозяйственно-биологическим признакам (2021–2023)
Results of dispersion analysis of the collection gene pool of clarkia for valuable economic and biological traits (2021–2023)

Признак	Степени свободы	НСР 5 %	Критерий Фишера, факт	Критерий Фишера, табл.	Стандартная ошибка	Степень влияния по Снедекору %
Масса 1 000 шт, г	19	0,024	193,3	4,38	0,008	99
Выход семян с растения, г	19	0,13	316,6	4,38	0,05	99

В целом все показатели семенной продуктивности у образцов кларкии были выше показателей $НСР_{0,05}$.

Самой большой массой семян с одного растения отличались авторские сорта кларкии, созданные на юге Западной Сибири: ‘Малиновая чаша’ (3,03 г), ‘Персиковая чаша’ (3,36 г), ‘Фарфоровая чаша’ (4,05 г), ‘Коралловые рифы’ (4,04 г) и ‘Лиловая Фея’ (5,5 г).

Была осуществлена оценка видов и сортов кларкии, относящихся к трем разным секциям рода по комплексу селекционно ценных хозяйственно-биологических признаков, приведены показатели на один генеративный главный побег (рис. 6).

Самая высокая жизнеспособность пыльцы, в среднем (за 4 и 24 ч культивирования на среде, содержащей 30 %-й раствор ПЭГ 6000) 82 %, завязываемость плодов и коэффициент семенной продуктивности наблюдались у нового для юга Западной Сибири интродукта *C. purpurea* (секц. *Godetia*), но при этом у нее наблюдали самое маленькое число полноценно развитых семян в коробочке, в среднем 30 ± 2 (min 23 –

max 40) при большей массе, а также самое низкое число неоплодотворенных семян (6 \pm 1,2 (min 5 – max 8)). У *C. unguiculata* (секц. *Phaeostoma*) жизнеспособность пыльцы была в среднем ниже на 21 %, завязываемость – ниже на 1 %, КСП – ниже на 9 %, при этом у образцов этого вида было самое обильное цветение, среднее число боковых соцветий – 39 ± 6 (min 31 – max 50) и среднее число цветков – 26 ± 4 (min 22 – max 34). У представителей вида и подвида *C. amoena* (секц. *Rhodanthos*) жизнеспособность пыльцы была в среднем на 32 % ниже, чем у *C. purpurea*, и на 11 % ниже, чем у представителей секции *Phaeostoma*, завязываемость – на 26 % ниже, а КСП на 10 % ниже, чем у *C. purpurea* и на 25 и 1 % ниже, чем у *C. unguiculata*. При этом у видов и сортов из секц. *Rhodanthos* наблюдалось самое большое число семян в коробочке 110 ± 18 (min 87 – max 144), а самая большая потенциальная семенная продуктивность (2 496 шт.) наблюдалась в секции *Phaeostoma*, в 1,8 раза меньше она была у представителей секции и самая низкая, в 5,3 раза ниже, она была у *C. purpurea* из секции *Godetia*.

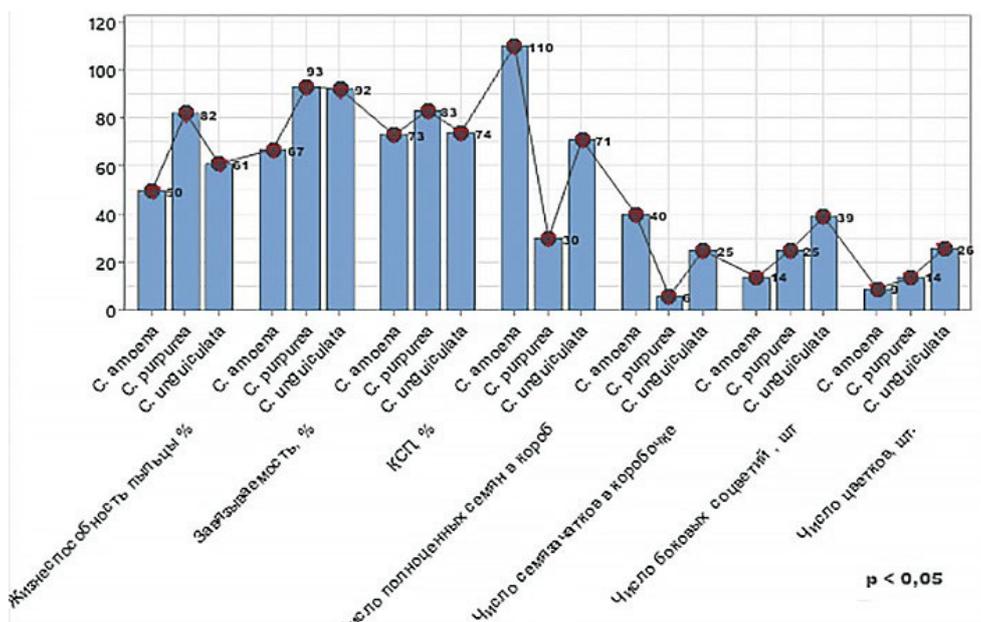


Рис. 6. Оценка видов кларкии по комплексу селекционно важных хозяйственно-биологических признаков на юге Западной Сибири
Evaluation of Clarkia species according to a complex of selection-important economic and biological traits in the south of Western Siberia

Чтобы оценить зависимость семенной продуктивности видов кларкии, относящихся к трем разным секциям рода *Clarkia*, от жизнеспособности

пыльцы (за первые 4 ч культивирования на среде содержащей 30 %-й раствор ПЭГ 6000), был проведен регрессионный анализ (рис. 7).

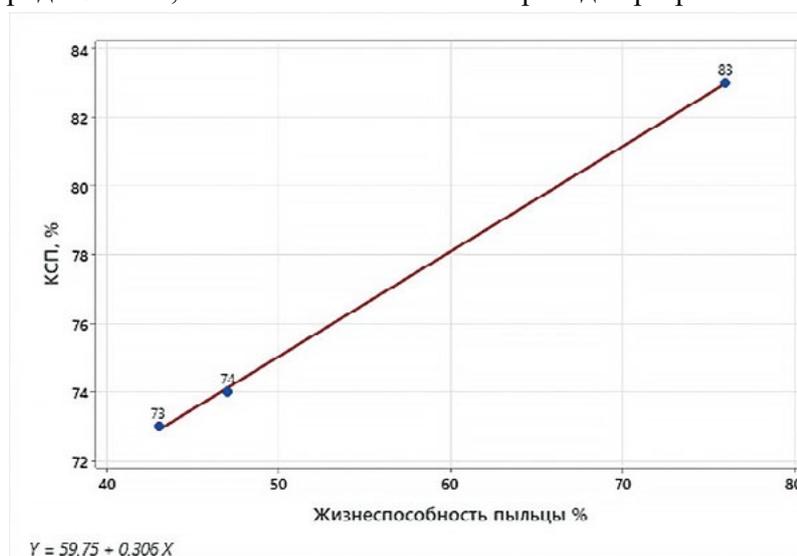


Рис. 7. Линия регрессии зависимости семенной продуктивности видов кларкии из трех различных секций *Clarkia* Pursh от жизнеспособности пыльцы на юге Западной Сибири
Regression line of seed productivity of Clarkia species from three different sections of Clarkia Pursh on pollen viability in the south of Western Siberia

Увеличение жизнеспособности пыльцы у всех видов кларкии из трех различных секций приводило к увеличению коэффициента семенной продуктивности КСП (коэффициент семенификации) со следующим уравнением регрессии:

$Y = 59,75 + 0,306 x$, где Y – КСП, а x – жизнеспособность пыльцы, % ($r = 0,99, p < 0,05$).

Зависимость семенной продуктивности по выходу семян с одного растения в граммах от сроков начала цветения образцов кларкии из трех различных секций представлена на рис. 8.

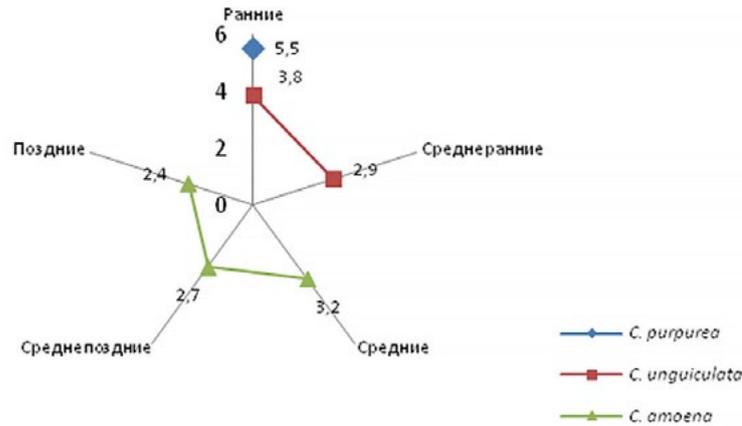


Рис. 8. Выход семян с одного растения у образцов *Clarkia* в зависимости от срока начала цветения, г
Seed yield per plant, g for *Clarkia* samples depending on the flowering start date

Самая высокая семенная продуктивность наблюдалась у ранних сортов кларкии – *C. purpurea* и *C. unguiculata*, при этом показатели *C. unguiculata* даже на 0,3 г превышали аналогичные показатели у растений, выращенных в условиях Молдавии (Савва, 1986). Сорта *C. unguiculata* среднераннего и среднего срока цветения также обладали большей массой семян с растения, которая варьировала незначительно ($C_v = 7\%$). Поздние сорта *C. amoena* отличались более низкой урожайностью, почти в два раза ниже, чем у ранних сортов ($C_v = 6\%$).

Таким образом, комплексная оценка образцов кларкии стала базой для разработки методики RTG/1157/1 проведения испытаний на ООС Кларкия, позволила выявить источники селекционно ценных хозяйственно-биологических признаков и создать фонд оригинальных семян, обеспечивающий направления дальнейшей селекционной работы и размножения перспективных образцов для дальнейшего внедрения их в производство и озеленение региона.

ВЫВОДЫ

1. Новый для юга Западной Сибири интродуцент *C. purpurea* (секц. *Godetia*) и его первый отечественный сорт ‘Лиловая Фея’, созданный автором, проявил высокую адаптационную способность к климатическим условиям Западной Сибири и отличался ранним цветением, высокой жизнеспособностью пыльцы 82 %, завязываемостью плодов 93 % и КСП 83 %.

2. Среди коллекционного генофонда кларкии Новосибирского ГАУ выявлены сорта-источники

разных сроков цветения: 1) раннего (42–45 сут от всходов) – авторские сорта: ‘Лиловая Фея’ и ‘Коралловые рифы’, а также сорт зарубежной селекции ‘Пурпурная’ (15 %); 2) среднераннего (46–50 сут) – зарубежные сорта ‘Сакура’, ‘Рубиновая’ и ‘Альбина’ (15 %); 3) среднего (51–61 сут) – авторские сорта ‘Красавица’, ‘Малиновая чаша’, ‘Персиковая чаша’ и зарубежный сорт ‘Сибил Шервуд’ (20 %); 4) среднепозднего (62–67 сут) – сорта зарубежной селекции ‘Герцогиня’, ‘Сладкие сердечки’, ‘Оранжевое сияние’, ‘Белёная’, ‘Метеор’, ‘Герцог Йоркский’, ‘Каттлея’ и авторский сорт ‘Фарфоровая чаша’ (40 %) и 5) позднего (более 67 сут) – зарубежные сорта ‘Вейсер Страус’ и ‘Рембрандт’ (10 %).

3. Среди видов кларкии выделены источники: 1) продолжительного цветения (до потери декоративности) 72–82 сут (*C. unguiculata*); 2) промежуточного цветения – 50–65 сут (*C. amoena*, *C. amoena* ssp. *lindleyi*, *C. purpurea*).

4. Для культивирования разных видов кларкии на юге Западной Сибири были установлены температурные границы прохождения межфазных периодов: *C. purpurea* требовалась наименьшая сумма активных температур выше 10°C, в среднем 1 234°C, на 117°C больше требовалось *C. unguiculata* и на 400°C больше необходимо было виду и подвиду *C. amoena*.

5. Для инициации процессов цветения видам кларкии необходимо накопление суммы активных температур выше 10 °C ($r = 0,997, p < 0,05$): *C. purpurea* (секц. *Godetia*) – 715 °C; *C. unguiculata* (секц. *Phaeostoma*) – 830 °C и *C. amoena* (секц. *Rhodanthos*) – 1103 °C. Все фазы развития у сортов кларкии укладывались в вегетационный период

10-го Западно-Сибирского региона. Установлены сильные корреляционные связи между продолжительностью межфазных периодов и суммой активных температур выше 10 °C ($r_{\text{вн}} = 0,855$, $p < 0,05$, $r_{\text{нс}} = 0,995$, $p < 0,05$).

6. Выявлены источники по степени ветвления и обилию цветения: *C. amoena* 'Малиновая Чаша' со средним количеством цветков на главной кисти (8–10) и средним числом латеральных цветочных побегов (13–20, в среднем 15); 'Фарфоровая Чаша', *C. purpurea* 'Лиловая Фея' – много цветков (12–14) с сильным ветвлением (21–30, в среднем – 25) и *C. unguiculata* 'Коралловые рифы' – очень много цветков (30–40) и очень сильное ветвление (31 и более, в среднем 39).

7. Установлена сильная прямая зависимость коэффициента семенной продуктивности (КСП) от жизнеспособности пыльцы у всех видов кларкии из трех различных секций, $r = 0,99$, $p < 0,05$.

8. Ранние сорта *C. purpurea* (5,5 г) и *C. unguiculata* (3,8 г) отличались наибольшим выходом семян с одного растения, а самая низкая урожайность, в среднем – 2,4 г, была у сортов *C. amoena* 'Вейсер Страус' и 'Рембрандт' позднего срока цветения.

9. Климатические условия Западной Сибири подходят для элитного семеноводства кларкии. Семена авторских сортов кларкии, а также зарубежных сортов, репродуцированных на юге Западной Сибири, по качеству соответствовали требованиям 1-го и 2-го класса ГОСТ 12260–81.

10. Разработана национальная методика проведения испытаний сортов на ООС Кларкия (*Clarkia Pursh*) RTG/1157/1 с выделением 36 критериев оценки для апробации сортов. Создана коллекция сортов-идентификаторов, включающая 12 образцов, в том числе два, созданных автором (*C. purpurea* 'Лиловая Фея' и *C. amoena* 'Малиновая чаша').

11. Рекомендуются группировать сорта кларкии по селекционно важным признакам на садовые группы согласно секциям рода *Clarkia*: *Rhodanthos*, *Godetia*, *Phaeostoma*.

12. Сорта кларкии среднего и раннего сроков цветения подходят для оформления цветников при посеве в открытый грунт, а поздние сорта при использовании в озеленении и получении полноценных семян рекомендуется выращивать рассадным способом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lewis H. The mechanism of evolution in the genus *Clarkia* // Evolution. – 1953. – Vol. 7. – № 1. – P. 1–20.
2. Lewis H. The Origin of Diploid Neospecies in *Clarkia* // The American Naturalist. – 1973. – Vol. 107. – № 954. – P. 161–170. – URL: www.jstor.org/stable/2459792 (дата обращения: 10.04.2025)
3. Lewis H., Hoch P.C. *Clarkia Pursh* // Flora of North America. – URL: [http:// dev.floranorthamerica.org/Clarkia](http://dev.floranorthamerica.org/Clarkia) (дата обращения: 10.04.2025).
4. Munz Ph., Keck D.D. A California Flora. – University of California Press. Berkeley Los Angeles. – London, 1973. – P. 923–961.
5. A phylogeny of the evening primrose family (Onagraceae) using a target enrichment approach with 303 nuclear loci. BMC / R.P. Overson, M.G. Johnson, L.L. Bechen [et. al.] // Ecol Evol. – 2023. – Vol. 23. – № 66. – P. 1–16. – DOI: 10.1186/s12862-023-02151-9. PMID: 37974080; PMCID: PMC10655384.
6. Wagner W.L., Hoch P.C., Raven P.H. Revised classification of the Onagraceae // Systematic Botany Monographs. – 2007. – Vol. 83. – P. 1–240.
7. Королева Е.В., Фомев Ю.В. Направления селекции и характер наследования признака «окраски цветка» у кларкии (*Clarkia amoena* (Lehm.) A. Nelson & J.F. Macbr) на юге Западной Сибири // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2024. – № 151. – С. 18–29.
8. Королева Е.В., Фомев Ю.В. Интродукция и селекция нового вида кларкии (*C. purpurea*) и разработка методики оценки сортов *Clarkia Pursh* на отличимость, однородность и стабильность // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 3(72). – С. 44–64. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-72-3-44-64.
9. Королева Е.В., Фомев Ю.В. Создание и оценка исходного материала декоративно-цветущих растений *Clarkia Pursh* на юге Западной Сибири // Генофонд и селекция растений: Мат-лы 7-й Междунар. конф., посвященной 95-летию академика РАН П.Л. Гончарова, Новосибирск, 10–12 апр. 2024 года. – Новосибирск: Федеральный исследовательский центр институт цитологии и генетики СО РАН, 2024. – С. 171–175. – DOI: 10.18699/GRV2024-44.
10. 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. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-60-74.

11. *Variation in growth, flowering and seed yield of satin flower (Godetia grandiflora) planted on different date* / P. Sharma, Y.C. Gupta, S.R. Dhiman [et. al] // Indian Journal of Agricultural Sciences. – 2016. – Vol. 86 – № 2. – P. 277–280.
12. *Святковская Е.А., Салтан Н.В., Уманец М.С.* Новые сорта однолетних цветочных растений для озеленения населенных мест Субарктики // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2022. – № 2(24). – С. 61–70. – DOI: 10.24888/2541-7835-2022-24-63-72.
13. *Былов В.Н.* Основы сравнительной сортооценки декоративных растений // Интродукция и селекция цветочно-декоративных растений. – М.: Наука, 1978. – С. 7–32.
14. *Гончаров Н.П., Гончаров П.Л.* Методические основы селекции растений / отв. ред. А.И. Моргунов; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т цитологии и генетики. – 3-е изд., испр. и доп. – Новосибирск, 2018. – 439 с.
15. *Реут А.А.* Интродукция представителей рода *Penstemon* Schmidel. В республике Башкортостан // Эпоха науки. – 2017. – № 12. – С. 219–225. – DOI: 10.1555/2409-3203-2017-0-12-219-225. – EDN ZXRDNX.
16. *Рахмангулов Р.С., Тихонова Н.Г.* Селекция декоративных растений в России // Биотехнология и селекция растений. – 2021. – Т. 4, № 4. – С. 40–54. – DOI: 10.30901/2658-6266-2021-4-04.
17. *Datta S.K.* Breeding of ornamentals: success and technological status // Nucleus. – 2022. – Vol. 65. – P. 107–128. – DOI:10.1007/s13237-021-00368-x.
18. *Bugallo V., Facciuto G.* Selection process in ornamental plant breeding // Ornamental Horticulture. – 2023. – Vol. 29. – P. 68–75. – DOI: 10.1590/2447-536x.v29i1.2617.
19. *Методика* первичного сортоизучения цветочных культур / В.И. Болгов, Т.В. Ивсюкова, В.В. Козина [и др.]. – М., 1998. – 40 с.
20. *Методика* RTG/1157/1 проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность Кларкия (*Clarkia Pursh*). – URL: <https://gossortrf.ru/publication/metodiki-ispytaniy-na-oos.php> (дата обращения: 10.04.2025).
21. *Бейдеман И.Н.* Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. – Новосибирск: Наука, 1974. – 154 с.
22. *ГОСТ 24933.0–81.* Семена цветочных культур. Методы определения всхожести и энергии прорастания семян [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/138/13865.pdf> (дата обращения: 10.04.2025).
23. *ГОСТ 12260–81.* Семена однолетних и двухлетних цветочных культур. Посевные качества. Технические условия [Электронный ресурс]. – URL: https://allgosts.ru/65/020/gost_12260-81 (дата обращения: 10.04.2025).
24. *Еременко Л.Л.* Развитие исследований по семеноведению и репродукция интродуцентов в ЦСБС СО РАН СССР // Интродукция растений в Сибири. – Новосибирск, 1977. – С. 212–226.
25. *Левина Р.Е.* Репродуктивная биология семенных растений. – М.: Наука, 1981. – 72 с.
26. *Методические указания* по семеноведению интродуцентов. – М.: Наука, 1980. – 64 с.
27. *Ткаченко К.Г.* Методические аспекты изучения латентного периода растений // Охрана и рациональное использование лесных ресурсов: мат-лы X междунар. форума, Благовещенск – Хэйхэ, 5–6 июня 2019 г. / Дальневосточный гос. агр. ун.; Управление лес. и степного хоз-ва округа г. Хэйхэ, провинции Хэйлунцзян (КНР); Мин-во лес. хоз-ва и пожарной безопасности Амурской области. Ч. 1. – Благовещенск, 2019. – С. 194–197.
28. *Ткаченко К.Г.* Разнокачественность плодов и семян, определяющая ритмы развития особей нового поколения // Hortus Botanicus. – 2020. – Т. 15. – С. 228–248.
29. *Ткаченко К.Г.* Латентный период растений. Методы изучения // Роль ботанических садов в сохранении и обогащении природной и культурной флоры: Мат-лы Всерос. конф. с междунар. участием, посвященной 20-летию Ботанического сада Северо-восточного фед. ун-та им. М.К. Аммосова, Якутск, 12–16 июля 2021 г. – Якутск, 2021. – С. 42–48.
30. *Ткаченко К.Г., Грязнов А.Ю., Староверов Н.Е.* Методические подходы контроля качества плодов и семян редких и нуждающихся в охране видов растений // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства: Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. посвященной 100-летию ин-та и 150-летию со дня рождения основателя и первого директора ин-та, проф. Б.М. Житкова, Киров, 23–26 мая 2022 г. – Киров, 2022. – С. 330–333.
31. *Королева Е.В., Фомев Ю.В.* Способ определения жизнеспособности пыльцы *in vitro* у видов и сортов кларкии (*Clarkia Pursh*) // BIOAsia Altai 2024: Мат-лы IV Междунар. биотехнол. форума, Барнаул, 23–28 сент. 2024 г. – Барнаул, 2024. – С. 312–316.
32. *Фомев Ю.В.* Исходный материал для селекции томата с устойчивостью к стрессовым температурам и болезням / под ред. В.Ф. Пивоварова. Методические указания по гаметной селекции сельскохозяйственных растений (методология, результаты и перспективы). – М., 2001. – С. 224–239.
33. *Фомев Ю.В.* К методике интродукции теплолюбивых овощных растений в Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2018. – № 4(49). – С. 104–118. – DOI: 10.31677/2072-6724-2018-49-4-104-118.
34. *Фомев Ю.В.* Оценка холодостойкости коллекционных образцов момордики (*Momordica charantia* L.) по прорастанию пыльцы при низкой температуре *in vitro* // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2022. – № 183(3). – С. 39–47. – DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-39-47.

35. Королева Е.В. Биологические особенности цветения генетической коллекции растений семейства Onagraceae Juss. в условиях лесостепи Западной Сибири // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – 2022. – № 21-2. – С. 69–75. – DOI: 10.14258/pbssm.2022057. – EDN JCYTХС.
36. Верещагина И.В. Культура цветочных растений в Алтайском крае. – Барнаул, 1968. – 142 с.
37. Пасько О.А. Экологические аспекты повышения продуктивности цветочных, овощных культур и картофеля в таежной зоне Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра с-х. наук. – Новосибирск, 2000. – 32 с.
38. Mechanisms of influence of invasive grass litter on germination and growth of coexisting species in California / Bao-Ming Chen, C.M. D'Antonio, N. Molinari [et al.] // Springer International Publishing AG, part of Springer Nature. – 2017 / Published online: 18 January 2018 (дата обращения: 10.04.2025).

REFERENCES

1. Lewis H., The mechanism of evolution in the genus *Clarkia*, *Evolution*, 1953, Vol. 7, No. 1, pp. 1–20.
2. Lewis H., The Origin of Diploid Neospecies in *Clarkia*, *The American Naturalist*, 1973, Vol. 107, No. 954, pp. 161–170, JSTOR, www.jstor.org/stable/2459792 (data obrashheniya: 10.04. 2025).
3. Lewis H., *Clarkia* Pursh, *Flora of North America*, URL: <http://dev.floranorthamerica.org/Clarkia> (data obrashheniya: 10.04. 2025).
4. Munz Ph., Keck D.A., *California Flora*, University of California Press. Berkeley Los Angeles, London, 1973, pp. 923–961.
5. Overson R.P. [et al.], A phylogeny of the evening primrose family (Onagraceae) using a target enrichment approach with 303 nuclear loci. *BMC, Ecol Evol*, 2023, Vol. 23, No. 66, pp. 1–16, DOI: 10.1186/s12862–023–02151–9, PMID: 37974080; PMCID: PMC10655384.
6. Wagner W.L., Hoch P.C., Raven P.H., *Revised classification of the Onagraceae Systematic Botany Monographs*, 2007, Vol. 83, pp. 1–240.
7. Koroleva E.V., Fotev Yu.V., *Byulleten` Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*, 2024, No. 151, pp. 18–29. (In Russ.).
8. Koroleva E.V., Fotev Yu.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet)*, 2024, No. 3(72), pp. 44–64, DOI: 10.31677/2072-6724-2024-72-3-44-64. (In Russ.).
9. Koroleva E.V., Fotev Yu.V., *Genofond i selekciya rastenij* (Gene pool and plant breeding), Materialy` 7-j Mezhdunar. konf., posvyashhennoj 95-letiyu akademika RAN P.L. Goncharova, Novosibirsk, 10–12 apr. 2024 g., Novosibirsk: Federal`ny`j issledovatel`skij centr institut citologii i genetiki SO RAN, 2024, pp. 171–175, DOI: 10.18699/GPB2024-44. (In Russ.).
10. Koroleva E.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet)*, 2023, No. 2(67), pp. 60–74, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-60-74. (In Russ.).
11. Sharma P., Gupta Y.C., Dhiman S.R. [et al.], Variation in growth, flowering and seed yield of satin flower (*Godetia grandiflora*) planted on different date, *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 2016, Vol. 86, No. 2, pp. 277–280.
12. Svyatkovskaya E.A., Saltan N.V., Umanecz M.S., *Agropromy`shlenny`e texnologii Central`noj Rossii*, 2022, No. 2(24), pp. 61–70, DOI: 10.24888/2541-7835-2022-24-63-72. (In Russ.).
13. By`lov V.N., *Osnovy` sravnitel`noj sortoocenki dekorativny`x rastenij, Introdukciya i selekciya cvetochno-dekorativny`x rastenij* (Introduction and selection of ornamental plants), Moscow: Nauka, 1978, pp. 7–32.
14. Goncharov N.P., Goncharov P.L., *Metodicheskie osnovy` selekcii rastenij* (Methodological principles of plant breeding), Novosibirsk, 2018, 439 p. (In Russ.).
15. Reut A.A., *E`poxa nauki*, 2017, No. 12, pp. 219–225, DOI: 10.1555/2409-3203-2017-0-12-219-225, EDN ZXRD-NX. (In Russ.).
16. Raxmangulov R.S., Tixonova N.G., *Biotexnologiya i selekciya rastenij*, 2021, T. 4, No. 4, pp. 40–54, DOI: 10.30901/2658-6266-2021-4-04.
17. Datta S.K., Breeding of ornamentals: success and technological status, *Nucleus*, 2022, Vol. 65, pp. 107–128, DOI: 10.1007/s13237-021-00368-x.
18. Bugallo V., Facciuto G., Selection process in ornamental plant breeding, *Ornamental Horticulture*, 2023, Vol. 29, pp. 68–75, DOI: 10.1590/2447-536x.v29i1.2617.
19. Bolgov V.I., Ivsyukova V., Kozina V.V. [i dr.], *Metodika pervichnogo sortoizucheniya cvetochny`x kul`tur* (Methodology of primary variety study of flower crops), Moscow, 1998. (In Russ.).
20. *Metodika RTG/1157/1 provedeniya ispy`tanij na otlichimost`, odnorodnost`i stabil`nost` Klarkiya (Clarkia Pursh)* (RTG/1157/1 Method for testing the distinctness, homogeneity and stability of *Clarkia* (*Clarkia Pursh*)), URL: <https://gossortrf.ru/publication/metodiki-ispytaniy-na-oos.php> (data obrashheniya: 10.04.2025). (In Russ.).
21. Bejdeman I.N., *Metodika izucheniya fenologii rastenij i rastitel`ny`x soobshhestv* (Methodology for studying the phenology of plants and plant communities), Novosibirsk: «Nauka», 1974, 154 p. (In Russ.).

22. GOST 24933.0–81, Semena cvetochny`x kul`tur. Metody` opredeleniya vsxozhesti i e`nergii prarastaniya semyan [E`lektronny`j resurs], URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/138/13865.pdf> (data obrashheniya: 10.04.2025). (In Russ.).
23. GOST 12260–81, Semena odnoletnix i dvuxletnix cvetochny`x kul`tur. Posevny`e kachestva, Texnicheskie usloviya [E`lektronny`j resurs], URL: https://allgosts.ru/65/020/gost_12260-81 (data obrashheniya: 10.04.2025). (In Russ.).
24. Eremenko L.L., *Introdukciya rastenij v Sibiri*, Novosibirsk: Nauka. Sib. otd.-nie, 1977, pp. 212–226. (In Russ.).
25. Levina R.E., *Reproduktivnaya biologiya semenny`x rastenij* (Reproductive biology of seed plants), Moscow: Nauka, 1981, 72 p. (In Russ.).
26. *Metodicheskie ukazaniya po semenovedeniyu introductentov* (Methodical instructions for seed production of introduced species), Moscow: Nauka, 1980, 64 p.
27. Tkachenko K.G., *Oxrana i racional`noe ispol`zovanie lesny`x resursov* (Protection and rational use of forest resources), Mat-ly` X mezhdunar. foruma, Blagoveshhensk, 2019, pp. 194–197. (In Russ.).
28. Tkachenko K.G., *Hortus Botanicus*, 2020, T. 15, pp. 228–248. (In Russ.).
29. Tkachenko K.G., *Rol` botanicheskix sadov v soxranenii i obogashhenii prirodnoj i kul`turnoj flory`* (The role of botanical gardens in preserving and enriching natural and cultural flora), Mat-ly` Vseros. Konf. s mezhdunar. uchastiem, Yakutsk, 2021, pp. 42–48. (In Russ.).
30. Tkachenko K.G., Gryaznov A.Yu., Staroverov N.E., *Sovremenny`e problemy` prirodopol`zovaniya, oxotovedeniya i zverovodstva* (Modern problems of nature management, hunting and animal husbandry), Mat-ly` Mezhdunar. nauch.–prakt. konf., Kirov, 2022, pp. 330–333. (In Russ.).
31. Koroleva E.V., Fotev Yu.V., *BIOAsia Altai 2024*, Mat-ly` IV Mezhdunar. biotexnol. foruma, Barnaul, 2024, pp. 312–316. (In Russ.).
32. Fotev Yu.V., *Isxodny`j material dlya selekcii tomata s ustojchivost`yu k stressovy`m temperaturam i boleznyam* (Source material for breeding tomato with resistance to stress temperatures and diseases), Moscow, 2001, pp. 224–239. (In Russ.).
33. Fotev Yu.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet)*, 2018, No. 4(49), pp. 104–118, DOI: 10.31677/2072-6724-2018-49-4-104-118. (In Russ.).
34. Fotev Yu.V., *Trudy` po prikladnoj botanike, genetike i selekcii*, 2022, No. 183(3), pp. 39–47, DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-39-47. (In Russ.).
35. Koroleva E.V., *Problemy` botaniki Yuzhnoj Sibiri i Mongolii*, 2022, No. 21-2, pp. 69–75, DOI: 10.14258/pbssm.2022057, EDN JCYTXC. (In Russ.).
36. Vereshhagina I.V., *Kul`tura cvetochny`x rastenij v Altajskom krae* (Flowering Plant Culture in the Altai Region), Barnaul, 1968, 142 p. (In Russ.).
37. Pas`ko O.A., *E`kologicheskie aspekty` povy`sheniya produktivnosti cvetochny`x, ovoshhny`x kul`tur i kartofelya v taezhnoj zone Zapadnoj Sibiri* (Ecological aspects of increasing the productivity of flower, vegetable crops and potatoes in the taiga zone of Western Siberia), Candidate's abstract, Novosibirsk, 2000, 32 p.
38. Bao-Ming Chen, D'Antonio C.M., Molinari N. [et al.], *Mechanisms of influence of invasive grass litter on germination and growth of coexisting species in California*, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature, 2017, Published online: 18 January 2018.

Информация об авторах:

Е.В. Королева, специалист ландшафтного центра, преподаватель кафедры растениеводства и кормопроизводства НГАУ

Contribution of the authors:

E.V. Koroleva, landscape center specialist, lecturer at the Department of Plant Growing and Forage Production at NSAU

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ISSR-МАРКЕРОВ ДЛЯ ГЕНОТИПИРОВАНИЯ ДЖУЗГУНА БЕЗЛИСТНОГО (*CALLIGONUM APHYLLUM* (PALL.) GUERKE), ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО НА ТЕРРИТОРИИ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ И СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

П.А. Кузьмин, Е.С. Лушникова, И.М. Романова

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Россия

E-mail: kuzmin-p@vfanc.ru

Для цитирования: Кузьмин П.А., Лушникова Е.С., Романова И.М. Использование ISSR-маркеров для генотипирования джужгуна безлистного (*Calligonum aphyllum* (Pall.) Guerke), произрастающего на территории Астраханской области и Ставропольского края // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 61–68. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-61-68.

Ключевые слова: *Calligonum aphyllum* (Pall.) Guerke, ISSR-маркеры, генетическое разнообразие, генотипирование, полиморфизм.

Реферат. На сегодняшний день актуальными остаются вопросы по генотипированию различных групп древесных и кустарниковых растений, которые произрастают в засушливых условиях, для определения селекционноценных генотипов. В связи с этим целью исследования являлось тестирование ISSR-маркеров и использование их для последующего генотипирования различных экотопических популяций *C. aphyllum*, произрастающих на территории Астраханской области и Ставропольского края. Оценку эффективности используемых ISSR-праймеров проводили с помощью четырех основных параметров информативности праймеров: информационный индекс полиморфизма (PIC), коэффициент эффективного мультиплексирования (EMR), индекс маркера (MI) и разрешающая способность (Rp). При использовании девяти праймеров в общей сложности было амплифицировано 88 ДНК-фрагментов генома *C. aphyllum*, из которых 77 – полиморфные. Общее количество амплифицированных полос ДНК зависело от используемого праймера и варьировалось от 8 до 15. Среднее значение PIC при использовании девяти праймеров составило 0,381, а стандартное отклонение составило всего 0,0043. Значения MI варьировали от 1,293 до 2,371, в среднем – 1,723. Самые высокие значения MI были выявлены у праймеров UBC808, UBC856 и UBC891 – 1,850, 1,908 и 2,371 соответственно. Значения показателя разрешающей способности находились в диапазоне от 2,400 (UBC808) до 7,771 (UBC891). Среднее значение RP составило 4,508, что говорит о высокой эффективности исследуемых праймеров при выявлении генетических различий популяций *C. aphyllum*. У популяций в Астраханской области полиморфность выше на 8,2 %, чем у популяций в Ставропольском крае. Обе популяции из Астраханской области (Cal2 и Cal3) демонстрируют схожие значения всех параметров генетической изменчивости. Результаты исследований могут быть использованы в селекционной работе по созданию новых форм *C. aphyllum*.

USING ISSR MARKERS FOR GENOTYPING *CALLIGONUM APHYLLUM* (PALL.) GUERKE, GROWING IN THE ASTRAKHAN REGION AND STAVROPOL REGION

P.A. Kuzmin, E.S. Lushnikova, I.M. Romanova

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

E-mail: kuzmin-p@vfanc.ru

Keywords: *Calligonum aphyllum* (Pall.) Guerke, polymorphism, ISSR markers, genetic diversity, genotyping, polymorphism.

Abstract. To date, the issues of genotyping of various groups of woody and shrubby plants that grow in arid conditions remain relevant to determine breeding-valuable genotypes. In this regard, the purpose of the study was to test ISSR markers and use them for subsequent genotyping of various ecotopic populations of *C. aphyllum* native to the Astrakhan Region and Stavropol Territory. The effectiveness of the ISSR primers used was evaluated using four main parameters of the information content of primers: polymorphism information index (PIC), effective multiplexing coefficient (EMR), marker index (MI) and resolution (Rp). Using 9 primers, a total

of 88 DNA fragments of the *C. aphyllum* genome were amplified, of which 77 were polymorphic. The total number of amplified DNA bands depended on the primer used and ranged from 8 to 15. The average PIC value using nine primers was 0.381, while the standard deviation was only 0.0043. The MI values ranged from 1,293 to 2,371, with an average of 1,723. The highest MI values were found in primers UBC808, UBC856 and UBC891 – 1,850, 1,908 and 2,371, respectively. The resolution index values ranged from 2,400 (UBC808) to 7,771 (UBC891). The average RP value was 4,508, which indicates the high efficiency of the primers studied in detecting genetic differences in *C. aphyllum* populations. Populations in the Astrakhan region have 8.2% higher polymorphism than populations in the Stavropol Territory. Both populations from the Astrakhan region (Cal2 and Cal3) show similar values of all parameters of genetic variability. The research results can be used in breeding work to create new forms of *C. aphyllum*.

В настоящее время изменение климата вызвано накоплением парниковых газов в атмосфере из-за хозяйственной деятельности человека, что приводит к усилению парникового эффекта и глобальному потеплению. В результате этого происходят изменения в количестве осадков, рост опасности лесных пожаров и усиление засухи [1], которая является одним из наиболее значительных стрессовых факторов, ограничивающих рост и развитие растений [2]. Для уменьшения негативного последствия от изменения климата необходимо принимать природоохранные решения, которые включают в себя повышение устойчивости экосистем и сохранение генетического разнообразия ее компонентов, в том числе растений [3, 4]. В исследовании регионального генофонда древесных и кустарниковых растений активно применяются разнообразные методы молекулярной генетики, с помощью которых существует возможность определения генетической структуры и оценки уровня генетического разнообразия [5–7].

Для снижения негативного воздействия засухи необходимо выявлять и внедрять засухоустойчивые виды растений, способные сохранять продуктивность даже при дефиците воды [8]. Ксерофиты имеют ряд молекулярных адаптаций к засушливой среде, которые позволяют им выдерживать дефицит влаги [9].

Растения рода Джужгун (*Calligonum* L.) семейства гречишных (*Polygonaceae*) представляют собой ксерофитные кустарники с ареалом обитания в Азии, Северной Африке и Юго-Восточной Европе, видовое разнообразие рода сосредоточено в Центральной Азии. Джужгун безлистный (*Calligonum aphyllum*) — один из самых распространенных кустарников песчаной пустыни [10]. Данный сильно ветвящийся вид с гладкими побегами имеет высоту до 3 м, листья очень маленьких размеров, плоды в виде мелких твердых орешков. Адаптация к условиям жизни на подвижных песках осуществляется за счет активного образования придаточных корней [11]. *C. aphyllum* — это растение, которое хорошо при-

способлено к жизни на светло-каштановых почвах полупустынных пастбищ Юга России [12]. Также в исследованиях говорится о засухоустойчивости и высокой адаптации этого вида на супесчаных почвах [13].

Геном *C. aphyllum* не секвенирован, поэтому для определения его молекулярно-генетической структуры была выбрана ISSR-маркерная система [14–16]. ISSR-маркеры – это участки генома, фланкированные простыми повторяющимися или микросателлитными последовательностями, состоящие из простых повторяющихся последовательностей коротких фрагментов ДНК из ди-, три-, тетра- или пентануклеотидов, которые многократно повторяются в составе тандемно организованных кластеров [17]. Такие маркеры характеризуются широким распространением в геноме, высоким уровнем полиморфизма. Кроме того, при работе с ними не требуется сложное оборудование и предварительное знание генома [18, 19].

Цель исследования – провести подбор ISSR-праймеров, пригодных для генотипирования и оценки генетической структуры популяций *C. aphyllum*, произрастающих в засушливых условиях Астраханской области и Ставропольского края.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выявления внутривидового генетического разнообразия *C. aphyllum* были отобраны три популяции, произрастающие в условиях жаркого аридного климата: популяция Cal1 – село Ачикулак, Ставропольский край (44.551902, 45.026262); популяция Cal2 – на территории заказника Астраханской области «Пески Берли» (47.561660, 47.289160); популяция Cal3 – на территории памятника природы «Урочище Кордон», Астраханская область (47.401996, 47.845036). Сбор образцов проводили во время вегетативного периода 2024 г.

Экстракцию геномной ДНК проводили из листовой пластинки с помощью модифицированного метода СТАВ [20].

Для исследования были выбраны неспецифичные ISSR-праймеры. Реакция ПЦР была проведена с использованием прибора Applied Biosystems QuantStudio 5 (Thermo Fisher Scientific, США). Реакционная смесь объемом 25 мкл содержала 50 нг геномной ДНК, 0,8 мМ ISSR-праймера, готовую смесь для ПЦР qPCRmix-HS (Евроген, Россия) и деионизированную воду, свободную от нуклеаз. Условия ПЦР: денатурация при 95 °С в течение 10 мин; 40 циклов, состоящих из 30 с денатурации при 95 °С, 30 с отжига праймера при 50,0–52,4 °С и 60 с элонгации при 72 °С. Заключительный этап пролонгирования нуклеотидной цепи проходил при температуре 72 °С в течение 10 мин.

Продукты полимеразной цепной реакции разделяли методом электрофореза в 1,8 % агарозном геле, содержащем 1X TAE буфера и бромистый этидий в качестве интеркалирующего красителя ДНК. Для оценки длин ДНК-фрагментов использовали маркер Step50 plus 0,1 мг/мл. Визуализацию и документирование результатов электрофореза проводили с помощью системы iBright CL1500 (Thermo Fisher Scientific, США). Для составления бинарной матрицы воспроизводимые ПЦР-фрагменты были оценены на наличие (1) или отсутствие (0) в составе спектров. Каждую из полос рассматривали как независимую.

Для каждого маркера были оценены следующие показатели: количество общих полос (ТВ), количество полиморфных полос (РВ), количество мономорфных полос (МВ) и процент полиморфных полос (РРВ).

Оценку эффективности используемых ISSR-праймеров проводили с помощью четырех основных параметров информативности праймеров: информационный индекс полиморфизма (PIC), коэффициент эффективного мультиплексирования (EMR), индекс маркера (MI) и разрешающая способность (Rp). Значение PIC для каждого праймера было рассчитано с использованием формулы $PIC_i = 2f_i(1 - f_i)$, где PIC_i – полиморфное информационное содержание праймера i , f_i – частота амплифицированных фрагментов и $1 - f_i$ – частота неамплифицированных фрагментов. Частота рассчитывалась как отношение количества амплифицированных фрагментов в каждом локусе к общему количеству присоединений (исключая отсутствующие данные). Эффективное мультиплексное отношение вычислялось с использованием формулы $EMR = n \times \beta$, где n – среднее количество фрагментов системного маркера (мультиплексное отношение), а β оценивается из количества полиморфных локусов (РВ) и количества неполоморфных локусов (МВ);

$\beta = РВ / (РВ + МВ)$. Значение MI для каждого праймера вычисляли по формуле $MI = EMR \times PIC$.

Анализ генетической изменчивости исследуемых популяций проводили с помощью программного обеспечения POPGENE версии 1.31 [21] путем оценки основных параметров генетической изменчивости: наблюдаемое число аллелей на локус (n_o), эффективное число аллелей (n_e), генное разнообразие по Нею (h), индекс Шенонна (I).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования были протестированы 15 динуклеотидных ISSR-праймеров. На основе четкости разделения границ ПЦР-полос и воспроизводимости результатов были отобраны 9 информативных ISSR-праймеров (табл. 1). Каждый анализируемый ISSR-праймер демонстрировал уникальный спектр продуктов амплификации у каждого растения в популяциях *C. aphyllum* (рисунок).

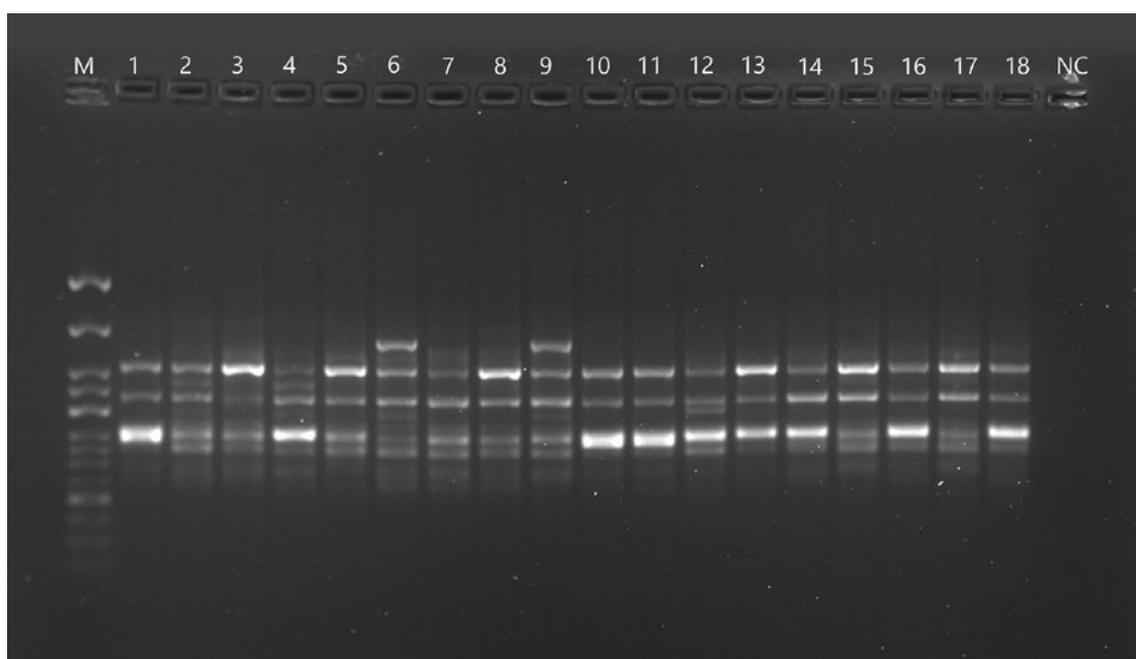
В общей сложности было амплифицировано 88 ДНК-фрагментов генома *C. aphyllum*, из которых 77 – полиморфные. Общее количество амплифицированных полос ДНК зависело от используемого праймера и варьировало от 8 до 15. Размер определяемых полос составлял от 250 до 1300 п. н. Число полиморфных локусов находилось в пределах от 4 до 14. Всего в среднем на каждый праймер приходилось 9,8 воспроизводимых полос, из них 8,6 – полиморфных. Наибольшее число ПЦР-фрагментов было выявлено при использовании праймеров UBC856 (11), UBC891 (12) и ISSR-1 (15). Количество полиморфных фрагментов при использовании указанных ISSR-праймеров также было самым высоким – 11, 14 и 11 соответственно. Наименьшее количество полиморфных полос было выявлено при использовании праймера UBC809 – из семи полученных фрагментов только четыре оказались полиморфными.

Доля полиморфных локусов для каждого из девяти праймеров варьировала от 57,1 до 100 %, а среднее значение выявляемого полиморфизма в пересчете на каждый праймер составило 86 %. Наибольший процент полиморфности фрагментов определялся при использовании праймеров UBC856 (100 %), UBC891 (93,3 %) и ISSR-1 (91,7 %), а наименьший при использовании праймера UBC809 (57,1 %).

Анализ полиморфизма ДНК трех популяций *C. aphyllum*
DNA polymorphism analysis of three *C. aphyllum* populations

Primer	Nucleotide sequence	Ta, °C	Allele size range, bp	TB	PB	MP	PPB, %
UBC808	(AG) ₈ C	52.4	350-900	8	7	1	87,5
UBC809	(AG) ₈ G	52.4	350-920	7	4	3	57,1
UBC811	(GA) ₈ C	52.4	380-1150	8	7	1	87,5
UBC818	(CA) ₈ G	52.4	380-1200	9	8	1	88,9
UBC840	(GA) ₈ YT	52.4	280-750	8	7	1	87,5
UBC856	(AC) ₈ YA	52.4	300-1000	11	11	0	100,0
UBC860	(TG) ₈ RA	52.4	350-1300	10	8	2	80,0
UBC891	HVH(TG) ₇	50,0	250-950	15	14	1	93,3
ISSR-1	(AC) ₈ T	50,0	300-1000	12	11	1	91,7
Итого:				88	77	11	86

Примечание. Ta (annealing temperature), °C – температура отжига праймера; TB (total band) – общее количество амплифицированных фрагментов; PB (polymorphic band) – количество полиморфных фрагментов; MB (monomorphic band) – количество мономорфных фрагментов; PPB (percentage polymorphic band), % – процент полиморфности праймера для популяции.



Пример электрофореграммы ампликонов популяции *Cal3* с использованием ISSR-праймера UBC808. M – маркер молекулярного веса ДНК Step50 plus, 1–18 – номера образцов, NC – негативный контроль
An example of an electropherogram of *Cal3* population amplicons using the UBC808 ISSR primer. M is the Step50 plus DNA molecular weight marker, 1–18 are sample numbers, NC is the negative control

Ранее ISSR-праймеры были использованы для оценки генетического разнообразия близкородственного вида *Calligonum comosum* L., произрастающего на Юге Туниса [22]. Для исследования генетической структуры *C. comosum* использовался специфический набор праймеров,

представляющих собой динуклеотидные повторы с добавочными нуклеотидами на 5'- и 3'- концах. Gasmí A. с соавторами при использовании семи ISSR-праймеров удалось получить 50 ПЦР-полосы; среднее значение амплифицируемых ПЦР-полос на каждый праймер составило 6,25,

из них полиморфных – только четыре. Общая доля выявляемых полиморфных ПЦР-фрагментов составила всего 67 %, что на 19 % ниже, чем в нашем исследовании. В наших исследованиях было выявлено большее количество полос на каждый используемый праймер и получен более высокий уровень полиморфизма, который указывает на высокое генетическое разнообразие исследуемых нами популяций.

Для анализа эффективности применения ISSR-праймеров при генотипировании *C. aphyllum* были выбраны показатели, позволяющие оценить степень информационного полиморфизма праймеров по таким характеристикам, как информационный индекс полиморфизма (PIC), коэффициент эффективного мультиплексирования (EMR), индекс маркера (MI) и разрешающая способность (Rp) (табл. 2).

Значение PIC считается одним из ключевых критериев, отражающих способность праймера детектировать полиморфизм в популяции. Значение PIC определяется общим количеством аллелей и частотой их встречаемости в исследуемой выборке. Среднее значение PIC при ис-

пользовании девяти праймеров составило 0,381, а стандартное отклонение составило всего 0,0043. На основании этих данных можно сделать вывод о равнозначной дискриминирующей возможности исследуемых ISSR-праймеров.

Индекс маркера MI был определен для оценки способности каждого праймера обнаруживать полиморфные локусы в генотипе. Известно, что наилучшими значениями MI считаются наиболее высокие [23]. В данном исследовании значения MI варьировали от 1,293 до 2,371, в среднем – 1,723. Самые высокие значения MI были выявлены у праймеров UBC808, UBC856 и UBC891 – 1,850, 1,908 и 2,371 соответственно.

Для оценки способности ISSR-праймера устанавливать различия между большим числом генотипов был рассчитан показатель RP. Значения показателя разрешающей способности находились в диапазоне 2,400 (UBC808) до 7,771 (UBC891). Среднее значение RP составило 4,508, что говорит о высокой эффективности исследуемых праймеров при выявлении генетических различий популяций *C. aphyllum*.

Таблица 2

Параметры информативности праймеров для *C. aphyllum*
Information content parameters of primers for *C. aphyllum*

Праймер	PIC	EMR	MI	RP
UBC808	0,383	4,829	1,850	2,400
UBC809	0,385	4,314	1,661	2,857
UBC811	0,377	3,429	1,293	3,029
UBC818	0,386	3,429	1,324	4,571
UBC840	0,379	4,686	1,776	4,571
UBC856	0,373	5,114	1,908	5,543
UBC860	0,385	3,857	1,485	3,714
UBC891	0,379	6,257	2,371	7,771
ISSR-1	0,382	4,771	1,823	6,114
Среднее	0,381	4,521	1,723	4,508

Примечание. PIC (polymorphic information content) – информационный индекс полиморфизма; EMR (effective multiplex ratio) – коэффициент эффективного мультиплексирования; MI (marker index) – индекс маркера; RP (resolving power of primer) – разрешающая способность.

Параметры генетической изменчивости показали, что процент полиморфности у популяций, произрастающих в Астраханской области (*Cal2* и *Cal3*), в сравнении с популяцией из Ставрополь-

ского края (*Cal1*), оказался выше на 8,2 %, что указывает на более низкий уровень генетического разнообразия и полиморфизма в популяции из Ставропольского края.

Значения основных параметров генетической изменчивости в популяциях *C. aphyllum*
The values of the main parameters of genetic variability in *C. aphyllum* populations

Популяция	n_a	n_e	h	I	Процент полиморфности
Cal1	1,602 ± 0,492	1,285 ± 0,345	0,173 ± 0,186	0,268 ± 0,265	60,2
Cal2	1,682 ± 0,468	1,405 ± 0,360	0,240 ± 0,192	0,360 ± 0,274	68,2
Cal3	1,682 ± 0,468	1,389 ± 0,348	0,234 ± 0,189	0,353 ± 0,271	68,2

Примечание. n_a – наблюдаемое число аллелей на локус; n_e – эффективное число аллелей; h – генное разнообразие по Нью; I – индекс Шеннона.

Обе популяции из Астраханской области (*Cal2* и *Cal3*) демонстрируют схожие значения всех параметров генетической изменчивости. Различия между ними минимальны и находятся в пределах статистической погрешности. Это может указывать на то, что популяции имеют схожую генетическую структуру и уровень генетического разнообразия.

ВЫВОДЫ

1. В общей сложности было амплифицировано 88 ДНК-фрагментов генома *C. aphyllum*, из которых 77 – полиморфные. Общее количество амплифицированных полос ДНК зависело от используемого праймера и варьировало от 8 до 15. Наибольшее число ПЦР-фрагментов было выявлено при использовании праймеров UBC856 (11), UBC891 (12) и ISSR-1 (15).

2. Среднее значение PIC при использовании девяти праймеров составило 0,381, а стандартное отклонение составило всего 0,0043. На основании этих данных можно сделать вывод о равнозначной дискриминирующей способности использованных ISSR-праймеров. Значения MI варьировали от 1,293 до 2,371, в среднем – 1,723. Самые высокие значения MI были выявлены у праймеров UBC808, UBC856 и UBC891 – 1,850, 1,908 и 2,371 соответственно. Значения показателя разрешающей способности находились в диапазоне от 2,400 (UBC808) до 7,771 (UBC891).

Среднее значение RP составило 4,508, что говорит о высокой эффективности исследуемых праймеров при выявлении генетических различий популяций *C. aphyllum*.

3. Исследуемые популяции *C. aphyllum* имели высокие значения полиморфности. Параметры генетической изменчивости показали, что процент полиморфности у популяций, произрастающих в Астраханской области (*Cal2* и *Cal3*), в сравнении с популяцией из Ставропольского края (*Cal1*), выше на 8,2 %.

4. Полученные данные по генотипированию *C. aphyllum* с использованием ISSR-маркеров будут полезны для дальнейшего изучения генетического разнообразия представителей данного родового комплекса и для проведения селекционной работы. Исследуемые популяции *C. aphyllum* можно рассматривать как источник потенциального материала для создания новых форм, обладающих повышенной устойчивостью к условиям длительной засухи. Полученные данные по генетической структуре исследуемых групп *C. aphyllum* будут использованы для связи выявленных полиморфных локусов с селекционно ценными признаками

Работа выполнена в рамках Государственного задания «Генотипирование древесных и кустарниковых пород, устойчивых к ограничивающим рост и развитие факторам внешней среды» (№ FNFE-2025-0007).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Climate change challenges, plant science solutions* / N.A. Eckardt, E.A. Ainsworth, R.N. Bahuguna [et al.] // The Plant Cell. – 2023. – Vol. 35, N 1. – P. 24–66. – DOI: 10.1093/plcell/koac303.
2. *Deciphering the plant microbiome to improve drought tolerance: mechanisms and perspectives* / S. Ali, A. Tyagi, S. Park [et al.] // Environmental and Experimental Botany. – 2022. – Vol. 201. – Art. 104933. – DOI: 10.1016/j.envexpbot.2022.104933.
3. *Alikhanova S., Bull J.W.* Review of nature-based solutions in dryland ecosystems: the aral sea case study // Environmental Management. – 2023. – Vol. 72, N 3. – P. 457–472. – DOI: 10.1007/s00267-023-01822-z.
4. *Establishing a climate target within the post-2020 Global Biodiversity Framework* / E. Archer, D. Obura, P. Leadley [et al.] // PLOS Climate. – 2022. – Vol. 1, N 12. – Art. e0000106. – DOI: 10.1371/journal.pclm.0000106.

5. Молекулярно-генетический анализ популяций *Populus nigra* L. на Среднем и Южном Урале на основании полиморфизма ISSR-маркеров / Н.А. Никоношина, Н.А. Мартыненко, Ю.С. Нечаева [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 3. – С. 403–403.
6. *Rajora O.P., Zinck J.W.R.* Genetic diversity, structure and effective population size of old-growth vs. second-growth populations of keystone and long-lived conifer, eastern white pine (*Pinus strobus*): conservation value and climate adaptation potential // *Frontiers in genetics*. – 2021. – Vol. 12. – Art. 650299. – DOI: 10.3389/fgene.2021.650299.
7. *Stronger genetic differentiation among within-population genetic groups than among populations in Scots pine provides new insights into within-population genetic structuring* / D. Danusevičius, O.P. Rajora, D. Kavaliauskas [et al.] // *Scientific Reports*. – 2024. – Vol. 14, N 1. – Art. 2713. – DOI: 10.1038/s41598-024-52769-y.
8. *Comparative analysis and characterization of the chloroplast genome of Krascheninnikovia ceratoides (Amarathaceae): a xerophytic semi-shrub exhibiting drought resistance and high-quality traits* / Y. Liu, C. Zheng, X. Su [et al.] // *BMC Genomic Data*. – 2024. – Vol. 25, N 1. – Art. 10. – DOI: 10.1186/s12863-024-01197-y.
9. *Transcriptomic profiling identifies candidate genes involved in the salt tolerance of the xerophyte Pugionium cornutum* / Y.N. Cui, F.Z. Wang, C.H. Yang [et al.] // *Genes*. – 2019. – Vol. 10, N 12. – Art. 1039. – DOI: 10.3390/genes10121039.
10. *Complete plastome sequencing resolves taxonomic relationships among species of Calligonum L. (Polygonaceae) in China* / F. Song, T. Li, K.S. Burgess [et al.] // *BMC Plant Biology*. – 2020. – Vol. 20. – P. 1–15. – DOI: 10.1186/s12870-020-02466-5.
11. *Использование гуминовых препаратов для выращивания посадочного материала древесных растений в аридном регионе* / А.К. Романенко, А.В. Солонкин, А.С. Соломенцева [и др.] // *Аграрный вестник Урала*. – 2022. – № 6(221). – С. 2–15. – DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-2-15.
12. *Подопригоров Ю.Н., Хюпинин А.А.* Джужгун безлистный (*Calligonum aphyllum* (Pall.) Gürke) – эффективный фитомелиорант в засушливых условиях Северного Прикаспия // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. – 2023. – № 2(70). – С. 288–298. – DOI: 10.32786/2071-9485-2023-02-33.
13. *Рыбашлыкова Л.П., Турко С.Ю., Маслова М.И.* Биологический потенциал природных растений в культуре // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2024. – Т. 93, № 2. – С. 166–177.
14. *Изучение генетического разнообразия сортообразцов тополя (*Populus* L.) на основе SSR-маркеров* / Т.П. Федулова, А.М. Кондратьева, П.М. Евлаков [и др.] // *Лесотехнический журнал*. – 2016. – Т. 6, № 4(24). – С. 105–111. – DOI: 10.12737/23441.
15. *Genetic diversity using biochemical, physiological, karyological and molecular markers of Sesamum indicum L* / S. Mesfer ALshamrani, F.A. Safhi, D.S. Alshaya [et al.] // *Frontiers in Genetics*. – 2022. – Vol. 13. – Art. 1035977. – DOI: 10.3389/fgene.2022.1035977.
16. *Анализ наличия геномов древесно-кустарниковых растений, используемых в агролесомелиорации южных регионов России* / А.И. Беляев, П.А. Крылов, А.М. Пугачева [и др.] // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. – 2023. – № 2(70). – С. 30–42. – DOI: 10.32786/2071-9485-2023-02-03.
17. *Amiteye S.* Basic concepts and methodologies of DNA marker systems in plant molecular breeding // *Heliyon*. – 2021. – Vol. 7, N 10. – DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e08093.
18. *Genetic diversity and population structure of cowpea mutant collection using SSR and ISSR molecular markers* / S. Diallo, F.A. Badiane, B.N. P.A. Kabkia [et al.] // *Scientific Reports*. – 2024. – Vol. 14, N 1. – Art. 31833. – DOI: 10.1038/s41598-024-83087-y.
19. *Assessment of genetic diversity in alfalfa using DNA polymorphism analysis and statistical tools* / C. Petolescu, I. Sarac, S. Popescu [et al.] // *Plants*. – 2024. – Vol. 13, N 20. – Art. 2853. – DOI: 10.3390/plants13202853.
20. *Structure and phylogeny of the curly birch chloroplast genome* / K.A. Shestibratov, O.Y. Baranov, E.N. Mescherova [et al.] // *Frontiers in Genetics*. – 2021. – Vol. 12. – Art. 625764. – DOI: 10.3389/fgene.2021.625764.
21. *POPGENE (version 1.3. 1).* Microsoft window-bases freeware for population genetic analysis / F.C. Yeh // <http://www.ualberta.ca/~fyeh/>. – 1999.
22. *Gasmi A., Triki T., Benabderrahim M.A.* Assessing phenolic and molecular diversity of arta (*Calligonum comosum* L.), a wild Tunisian desert plant // *South African Journal of Botany*. – 2022. – Vol. 151. – P. 166–174. – DOI: 10.1016/j.sajb.2022.09.044.
23. *Чесноков Ю.В., Артемьева А.М.* Оценка меры информационного полиморфизма генетического разнообразия // *Сельскохозяйственная биология*. – 2015. – № 5. – С. 571–578. – DOI: 10.15389/agrobiol.2015.5.571rus.

REFERENCES

1. Eckardt N.A., Ainsworth E.A., Bahuguna R.N. [et al.], Climate change challenges, plant science solutions, *The Plant Cell*, 2023, Vol. 35, No. 1, pp. 24–66, DOI: 10.1093/plcell/koac303.
2. Ali S., Tyagi A., Park S. [et al.], Deciphering the plant microbiome to improve drought tolerance: mechanisms and perspectives, *Environmental and Experimental Botany*, 2022, Vol. 201, Art. 104933, DOI: 10.1016/j.envexpbot.2022.104933.

3. Alikhanova S., Bull J.W., Review of nature-based solutions in dryland ecosystems: the aral sea case study, *Environmental Management*, 2023, Vol. 72, No. 3, pp. 457–472, DOI: 10.1007/s00267-023-01822-z.
4. Archer E., Obura D., Leadley P. [et al.], Establishing a climate target within the post-2020 Global Biodiversity Framework, *PLOS Climate*, 2022, Vol. 1, No. 12, Art. e0000106, DOI: 10.1371/journal.pclm.0000106.
5. Nikonoshina N.A., Martynenko N.A., Nechaeva Yu.S. [et al.], *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2016, No. 3, pp. 403–403. (In Russ.)
6. Rajora O.P., Zinck J.W.R., Genetic diversity, structure and effective population size of old-growth vs. second-growth populations of keystone and long-lived conifer, eastern white pine (*Pinus strobus*): conservation value and climate adaptation potential, *Frontiers in Genetics*, 2021, Vol. 12., Art. 650299, DOI: 10.3389/fgene.2021.650299.
7. Danusevičius D., Rajora O.P., Kavaliauskas D. [et al.], Stronger genetic differentiation among within-population genetic groups than among populations in Scots pine provides new insights into within-population genetic structuring, *Scientific Reports*, 2024, Vol. 14, No. 1, Art. 2713, DOI: 10.1038/s41598-024-52769-y.
8. Liu Y., Zheng C., Su X. [et al.], Comparative analysis and characterization of the chloroplast genome of *Krascheninnikovia ceratoides* (Amaranthaceae): a xerophytic semi-shrub exhibiting drought resistance and high-quality traits, *BMC Genomic Data*, 2024, Vol. 25, No. 1, Art. 10, DOI: 10.1186/s12863-024-01197-y.
9. Cui Y.N., Wang F.Z., Yang C.H. [et al.], Transcriptomic profiling identifies candidate genes involved in the salt tolerance of the xerophyte *Pugionium cornutum*, *Genes*, 2019, Vol. 10, No. 12, Art. 1039, DOI: 10.3390/genes10121039.
10. Song F, Li T., Burgess KS. [et al.], Complete plastome sequencing resolves taxonomic relationships among species of *Calligonum* L. (Polygonaceae) in China, *BMC Plant Biology*, 2020, Vol. 20, pp. 1–15, DOI: 10.1186/s12870-020-02466-5.
11. Romanenko A. K., Solonkin A.V., Solomentseva A. S. [et al.], *Agrarnyy vestnik Urala*, 2022, No. 6(221), pp. 2–15, DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-2-15. (In Russ.)
12. Podoprigorov Yu.N., Khyupinin A.A., *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2023, No. 2(70), pp. 288–298, DOI: 10.32786/2071-9485-2023-02-33. (In Russ.)
13. Rybashlykova L.P., Turko S.Yu., Maslova M.I., *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya*, 2024, Vol. 93, No. 2, pp. 166–177. (In Russ.)
14. Fedulova T.P., Kondratieva A.M., Yevlakov P.M. [et al.], *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2016, Vol. 6, No. 4(24), pp. 105–111, DOI: 10.12737/23441. (In Russ.)
15. Mesfer ALshamrani S., Safhi F.A., Alshaya D.S. [et al.], Genetic diversity using biochemical, physiological, karyological and molecular markers of *Sesamum indicum* L., *Frontiers in Genetics*, 2022, Vol. 13, Art. 1035977, DOI: 10.3389/fgene.2022.1035977.
16. Belyaev A.I., Krylov P.A., Pugacheva A.M. [et al.], *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2023, No. 2(70), pp. 30–42, DOI: 10.32786/2071-9485-2023-02-03. (In Russ.)
17. Amiteye S., Basic concepts and methodologies of DNA marker systems in plant molecular breeding, *Heliyon*, 2021, Vol. 7, No. 10, DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e08093.
18. Diallo S., Badiane F.A., Kabkia B.N.P.A. [et al.], Genetic diversity and population structure of cowpea mutant collection using SSR and ISSR molecular markers, *Scientific Reports*, 2024, Vol. 14, No. 1, Art. 31833, DOI: 10.1038/s41598-024-83087-y.
19. Petolescu C., Sarac I., Popescu S. [et al.], Assessment of genetic diversity in alfalfa using DNA polymorphism analysis and statistical tools, *Plants*, 2024, Vol. 13, No. 20, Art. 2853, DOI: 10.3390/plants13202853.
20. Shestibratov K.A., Baranov O.Y., Mescherova E.N. [et al.], Structure and phylogeny of the curly birch chloroplast genome, *Frontiers in Genetics*, 2021, Vol. 12, Art. 625764, DOI: 10.3389/fgene.2021.625764.
21. Yeh F.C., *POPGENE* (version 1.3. 1). Microsoft window-bases freeware for population genetic analysis, <http://www.ualberta.ca/~fyeh/>, 1999.
22. Gasmi A., Triki T., Benabderrahim M.A., Assessing phenolic and molecular diversity of arta (*Calligonum comosum* L.), a wild Tunisian desert plant, *South African Journal of Botany*, 2022, Vol. 151, pp. 166–174, DOI: 10.1016/j.sajb.2022.09.044.
23. Chesnokov Yu.V., Artemyeva A.M., *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2015, No. 5, pp. 571–578, DOI: 10.15389/agrobiology.2015.5.571rus. (In Russ.)

Информация об авторах:

П.А. Кузьмин, кандидат сельскохозяйственных наук
 Е.С. Лушникова, лаборант-исследователь
 И.М. Романова, инженер-исследователь

Contribution of the authors:

P.A. Kuzmin, Candidate of Agricultural Sciences
 E.S. Lushnikova, Laboratory researcher
 I.M. Romanova, Engineer researcher

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ РАСТЕНИЕВОДСТВА СИБИРИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

М.С. Петухова, С.Л. Добрянская

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: petuhova_ms@edubiotech.ru

Для цитирования: Петухова М.С., Добрянская С.Л. Долгосрочный прогноз развития отрасли растениеводства Сибири в условиях глобального изменения климата // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 69–78. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-69-78.

Ключевые слова: зерновое производство, масличные культуры, смещение природно-климатических зон, изменение климата, залежные земли.

Реферат. Статья посвящена прогнозированию влияния глобального изменения климата на развитие отрасли растениеводства в Сибири. В результате предыдущих исследований выявлено, что смещение природно-климатических зон к 2050 г. приведет к улучшению условий отрасли растениеводства в отдельных регионах, таких как Красноярский край, Республика Тыва и Республика Хакасия. В Красноярском крае произойдет наибольшее увеличение среднегодовой температуры – на 2–3 °С к 2050 г., что приведет к увеличению длительности вегетационного периода и создаст возможность для выращивания позднеспелых сортов сельскохозяйственных культур. Показано прогнозное изменение почвенного покрова в условиях глобального изменения климата, преимущественно это сокращение органического вещества в почве, ее минерализация и эрозия. При этом смещение природно-климатических зон создаст условия для расширения посевных площадей на север макрорегиона, преимущественно за счет введения в оборот залежных земель. Эти земли будут использованы в основном для увеличения производства зерновых и зернобобовых культур, а, например, на юге Красноярского края увеличатся посевы под масличными культурами. Вместе с тем вовлечение в сельскохозяйственный оборот новых территорий в условиях глобального потепления связано с определенными рисками, такими как увеличение числа природных катаклизмов, деградация многолетнемерзлых грунтов и нарушение экологического баланса.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-01504.

LONG-TERM FORECAST OF THE DEVELOPMENT OF THE SIBERIAN CROP INDUSTRY IN THE CONTEXT OF GLOBAL CLIMATE CHANGE

M.S. Petukhova, S.L. Dobryanskaya

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: petuhova_ms@edubiotech.ru

Keywords: grain production, oilseeds, displacement of natural and climatic zones, climate change, fallow lands.

Abstract. The article is devoted to forecasting the impact of global climate change on the development of the crop industry in Siberia. As a result of previous studies, it has been revealed that the shift of natural and climatic zones by 2050 will lead to an improvement in the conditions of the crop industry in certain regions, such as the Krasnoyarsk Territory, the Republics of Tyva and Khakassia. The Krasnoyarsk Territory will experience the largest increase in the average annual temperature – by 2–3 °C by 2050, which will lead to an increase in the duration of the growing season and create the opportunity for growing late-ripening varieties of crops. The predicted changes in the soil cover under conditions of global climate change are shown, mainly the reduction of organic matter in the soil, its mineralization and erosion. At the same time, the shift of natural and climatic zones will create conditions for the expansion of acreage to the north of the macroregion, mainly due to the introduction of fallow lands into circulation. These lands will be used mainly to increase the production of grain and leguminous crops, and, for example, in the south of the Krasnoyarsk Territory, oilseed crops will increase. At the same time, the involvement of new territories in agricultural turnover in the context of global warming is associated with certain risks, such as an increase in the number of natural disasters, degradation of permafrost soils and disruption of the ecological balance.

Актуальность исследования определяется важностью сельского хозяйства для экономики Сибири и необходимостью адаптации его к изменяющимся климатическим условиям. Сибирь обладает огромным сельскохозяйственным потенциалом, который может быть реализован при условии учета прогнозируемых изменений климата. Глобальное потепление приводит к смещению природно-климатических зон, что открывает новые возможности для расширения посевных площадей и внедрения новых видов сельскохозяйственных культур. В то же время увеличение засушливости в некоторых регионах может привести к снижению продуктивности традиционного сельского хозяйства. Поэтому изучение перспектив и рисков, связанных с изменением климата, является критически важным для разработки стратегий устойчивого развития сельского хозяйства в Сибири.

Цель исследования: оценить влияние глобального изменения климата на развитие отрасли растениеводства в Сибири к 2050 г.

Задачи исследования:

1. Проанализировать прогнозное смещение природно-климатических зон на территории Сибирского федерального округа.
2. Оценить влияние изменения климата на структуру и направления хозяйственной деятельности сельских территорий.
3. Исследовать перспективы выращивания различных сельскохозяйственных культур в новых климатических условиях.
4. Выявить основные риски, связанные с освоением новых территорий, и предложить меры по их минимизации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследования – отрасль растениеводства Сибирского федерального округа в условиях глобального изменения климата.

Исследование основано на анализе данных метеорологических наблюдений, картографических материалов и научных публикаций. Используются методы математического моделирования и

прогнозирования, а также сравнительный анализ изменений природно-климатических характеристик в разных регионах Сибири.

Территория исследования – Сибирский федеральный округ (СФО), в состав которого входят 10 субъектов (Республика Алтай, Республика Тыва, Республика Хакасия, Алтайский край, Красноярский край, Иркутская, Кемеровская, Новосибирская, Омская и Томская области).

Для оценки изменения гидротермических условий в СФО использован гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), который в настоящее время широко применяется в практике Росгидромета как основной количественный показатель соотношения тепла и влаги. Для построения климатических проекций ГТК Селянинова до 2050 г. использованы климатические проекции температуры воздуха и сумм атмосферных осадков, полученные по данным CMIP6 (сценарии SSP1-2.6 и SSP5-8.5) и откорректированные аналогично. Полученные проекции показывают направления смещения природно-климатических зон в макрорегионе к 2050 г. В результате прогнозных расчетов выявлено, что смещение возможно во всех направлениях, но во всех регионах преобладать будет движение с юга на север. Необходимо учитывать, что под смещением зон в данном исследовании понимается изменение границ зон с той или иной тепловлагообеспеченностью (теми или иными значениями ГТК). То есть в ближайшие 30 лет создадутся благоприятные климатические условия для изменения ареалов растительности, соответствующей тем или иным природным зонам.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках предыдущих исследований выявлено, что прогнозное смещение природно-климатических зон на территории Сибирского федерального округа в условиях глобального изменения климата (рис. 1) станет ключевым фактором в возможном изменении объемов и структуры производства продукции растениеводства [1–3].

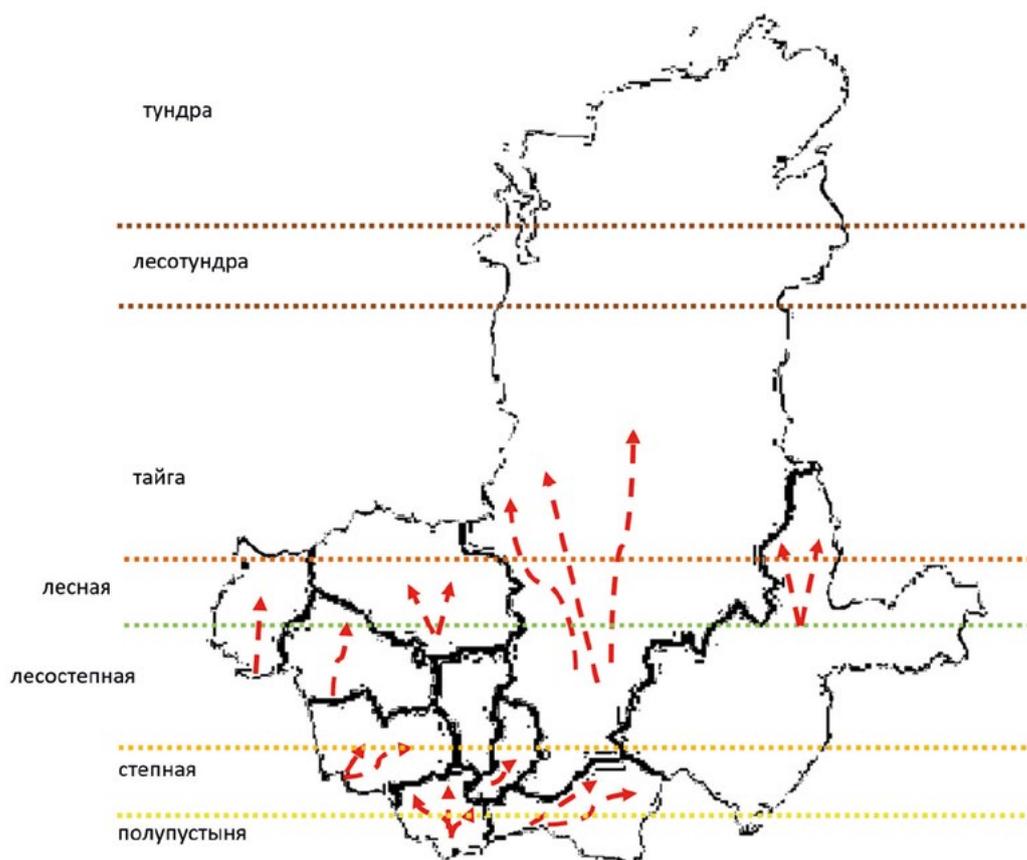


Рис. 1. Прогнозное направление смещения природно-климатических зон в Сибирском федеральном округе
Forecast direction of shift of natural and climatic zones in the Siberian Federal District

В результате такого смещения существенно изменятся и природно-климатические характеристики в субъектах Сибирского федерального округа (табл. 1).

Таблица 1

Прогнозное изменение природно-климатических характеристик в субъектах СФО к 2050 г.
Forecasted change in natural and climatic characteristics in the subjects of the Siberian Federal District by 2050

Субъект СФО	Увеличение среднегодовой температуры	Изменение количества осадков	ГТК _{факт}	ГТК _{прогноз}	Изменения почвы
1	2	3	4	5	6
Новосибирская область	1–2 °С	Сокращение	1,15	1,1	Уменьшение влагообеспеченности почвы. Вероятность водной и ветровой эрозии
Республика Алтай	1–2 °С	Сокращение интенсивности и частоты дождей	2,11	1,6	Усиление процесса деградации почв, ухудшение водного режима
Алтайский край	1–2 °С	Увеличение весной и осенью, летом – сокращение	1,02	0,9	Увеличение засушливости почв, сокращение продуктивности, опустынивание в районе Кулундинской степи
Иркутская область	1–2 °С	Увеличение весной и осенью, летом – сокращение	1,50	1,3	Увеличение засушливости в южных районах области, ускорение процессов опустынивания

1	2	3	4	5	6
Кемеровская область — Кузбасс	1–1,5 °С	Незначительное сокращение осадков	1,27	1,25	Увеличение засушливости в южных районах области, ускорение процессов опустынивания
Красноярский край	2–3 °С. Значительное потепление ожидается в северной части края, особенно вдоль побережья Карского моря.	Увеличение количества осадков в северных районах зимой и весной	1,30	1,5	На севере – увеличение влагообеспеченности почв
Омская область	1–2 °С	Летом – сокращение, весной и осенью – сильные ливни	1,09	0,95	Уменьшение влажности почвы в летне-осенний период
Томская область	1–2 °С	Незначительное изменение осадков	1,28	1,2	Без существенных изменений
Республика Тыва	1–2 °С	Увеличение весной и осенью, летом – сокращение	1,13	1,3	В северных районах улучшение водного режима и снижение кислотности почв
Республика Хакасия	1–1,5 °С	Увеличение весной и осенью, летом – сокращение	1,06	1,2	Повышение плодородия за счет расширения лесостепной зоны на север региона

В части регионов (Красноярский край, Республика Тыва и Республика Хакасия) к 2050 г. произойдет улучшение природно-климатических условий, благоприятно влияющих на производство продукции растениеводства. Здесь появится возможность расширения площади посевов, в том числе за счет ввода в сельскохозяйственный оборот залежных земель и выращивания новых видов культур. В то же время в Республике Алтай, Алтайском крае, Иркутской и Омской областях прогнозируется увеличение засушливости территории, что может привести к сокращению объемов производства.

Рассмотрим по отдельности каждый субъект СФО.

Новосибирская область (расширение северных границ зон – обеспеченного и избыточного увлажнения до 100 км, засушливой зоны на юге области – до 75 км). В целом к 2050 г. регион окажется на границе засушливого и полусухого климата, что потребует применения специальных агротехнических приемов, например, агролесомелиорации, использования засухоустойчивых сортов и современных систем орошения. Расширение посевных площадей зерновых и зернобобовых культур, масличных культур будет возможно

за счет вовлечения в сельскохозяйственный оборот залежных земель, которые составляют около 10 % от всех сельхозугодий.

Республика Алтай (юго-восток – полупустыня, смещение зоны увлажнения на север) – сокращение посевных площадей и пастбищ. Диверсификация сельской экономики, уход от сельского хозяйства. Развитие сельского туризма, выращивания лекарственных растений.

Красноярский край (уменьшение площади зон избыточного увлажнения, расширение зоны обеспеченного увлажнения. На востоке – появление лесостепных ландшафтов, расширение посевов яровой пшеницы, масличных и бобовых культур. Выращивание озимых культур. Возможность использования позднеспелых сортов, например, овощных культур, на юге региона за счет увеличения вегетационного периода в среднем на 15–20 дней.

Республика Тыва (преобладающая зона избыточного переувлажнения. Юго-запад – полупустыня. В центральных районах смещение зон до 200 км) – в северных районах региона улучшение природно-климатических характеристик приведет к повышению плодородия почв, что положительно скажется на сельском хозяйстве,

в частности, на выращивании кормовых культур для животноводства республики.

Республика Хакасия (увеличение влагообеспеченности на севере региона и засушливости на юге). Благоприятные условия увлажнения открывают возможности для выращивания более требовательных к влаге культур, таких как сахарная свекла, подсолнечник и кормовые травы. Это позволит диверсифицировать сельское хозяйство и повысить его экономическую устойчивость.

Алтайский край (расширение степной зоны, уменьшение лесостепи. Смещение зон до 150 км на северо-восток) – выращивание засухоустойчивых зерновых культур. Развитие лекарственного растениеводства. В долгосрочной перспективе возможно сокращение продуктивности почв, ветровая эрозия, что скажется на сокращении урожайности культур (зерновых на 30 %, подсолнечника – на 40 %, картофеля – на 25 %).

Омская область (уменьшение увлажнения территории с продвижением границ зон в северном направлении) – изменение структуры посевных площадей, увеличение площади под озимой пшеницей, рапсом. Необходимость использования засухоустойчивых сортов.

Томская область (смещение зоны избыточного увлажнения на север – до 150 км, южные территории переходят в зону умеренного увлажнения). Рекультивированные болота можно будет использовать в качестве пастбищ и сенокосов.

Иркутская область (увеличение площади засушливых зон на 40–60 км на юг. В центральных районах – переувлажнение) – неблагоприятное влияние изменения климата на производство продукции растениеводства.

Кемеровская область (преобладают зоны обеспеченного и избыточного увлажнения) – диверсификация производства продукции растениеводства, выращивание масличных культур.

Изменение климата и улучшение гидротермических условий открывают новые перспективы для сельского хозяйства в Сибири [4, 5]. Выращивание теплолюбивых и специализированных культур становится реальным сценарием развития, что позволит диверсифицировать сельскохозяйственное производство и улучшить экономику макрорегиона [6].

Однако основным направлением развития сельскохозяйственного производства регионов Сибири к 2050 г. останется выращивание зерновых и зернобобовых, масличных культур. Изменение климата в большей степени как раз затронет эти сферы. Животноводство в меньшей

мере подвержено влиянию природно-климатического фактора.

Таким образом, природно-климатические изменения создадут условия для существенного увеличения валовых сборов ключевых сельскохозяйственных культур [7]. При этом стоит учесть, что посевные площади под высокомаржинальными масличными культурами будут увеличиваться в том числе за счет продолжения сокращения посевов под зерновыми и зернобобовыми культурами. Для увеличения посевов рапса перспективны преимущественно южные районы Красноярского края, Новосибирская область, Алтайский край и юго-западные районы Томской области.

Основным ресурсом для увеличения посевной площади в Сибири являются залежные земли. Это важный территориальный резерв в направлении экологизации сельскохозяйственного производства Сибири. Потенциальное плодородие залежных земель выражается в оптимальной структуре, стабилизации гумусного состояния, благоприятных физико-механических и физических свойствах, они способны противостоять эрозионным процессам за счет мощной корневой системы растений [8]. Процессы, происходящие в залежных землях, обозначаются как вторичные сукцессии, как переход от агроценоза к естественному типу растительного сообщества. Такие процессы начинаются постепенно, но заканчиваются резким ростом видового разнообразия заселяющихся на залежи растений, внедрением в фитоценоз преимущественно древесной растительности. Дальнейшее вовлечение залежных земель в сельскохозяйственный оборот позволит создать мультипликативный эффект как в сельскохозяйственной, так и в перерабатывающей отраслях [9].

Залежные земли могут быть использованы в качестве потенциальных сенокосов и пастбищ; постагрогенных лесных экосистем с разнообразными рекреационными и биосферными природными ресурсами; лесов – поглотителей парниковых газов. В то же время естественное лесовосстановление на залежных землях важно оценивать с позиции почвенно-экологической устойчивости сформировавшихся постагрогенных экосистем и оптимизации агроландшафтного земледелия [11].

В Сибири находятся самые большие резервы залежных земель – около 2,7 млн га. Их распределение неравномерно по территории округа (рис. 2).

Наибольшая площадь залежных земель имеет в Красноярском крае – более 1 млн га (табл. 2).



Рис. 2. Распределение залежных земель в Сибирском федеральном округе
Distribution of fallow lands in the Siberian Federal District

Таблица 2

Площадь залежных земель в субъектах СФО¹
Area of fallow lands in the subjects of the Siberian Federal District

Регион	Площадь залежных земель, тыс. га	Площадь залежных земель, % от СФО
СФО	2685,7	100 %
Омская область	160,8	6,0
Новосибирская область	81,0	3,0
Томская область	42,5	1,6
Кемеровская область	65,5	2,4
Алтайский край	547,1	20,4
Республика Алтай	2,0	0,1
Красноярский край	1 153,6	43,0
Иркутская область	350,0	13,0
Республики Тыва	61,4	2,3
Республика Хакасия	382,6	14,2

¹По данным Росреестра

Для аграрного сектора Сибири одна из приоритетных задач на ближайшие годы – повторная распашка земель, выведенных из активного сельскохозяйственного оборота за последние несколько десятилетий. Таким образом, вопрос дальнейшего использования залежных земель макрорегиона, занимающих обширные территории и выведенные из активного сельскохозяйственного оборота, должен стать

составной частью общей стратегии адаптации к глобальному изменению климата [12, 13].

В табл. 3 показаны потенциальные направления развития отрасли растениеводства на залежных землях Сибирского федерального округа. Усредненная прогнозная урожайность рассчитывалась на основе ее среднепрогрессивного значения и средневзвешенной урожайности за последние три года.

Таблица 3

Потенциальные направления развития отрасли растениеводства на залежных землях Сибирского федерального округа
Potential directions for the development of the crop production industry on fallow lands of the Siberian Federal District

Регион	Площадь залежных земель, тыс. га	Отрасли специализации сельского хозяйства	Усредненное прогнозное значение урожайности сельскохозяйственных культур, ц/га	Потенциальный объем дополнительного производства зерновых культур, тыс. т
Омская область	161	Зерновое производство, овощеводство, картофелеводство, садоводство	Зерновые 15,7 ц/га. Зернобобовые Картофель 175,1 ц/га. Овощи 250,1 ц/га	252,8
Новосибирская область	70	Зерновое производство, овощеводство, картофелеводство, возделывание масличных культур	Зерновые 16,5 ц/га. Картофель 141,3 ц/га. Овощи 264,6 ц/га. Рапс 20 ц/га	115,5
Томская область	1	Зерновое производство, льноводство (семена льна), овощеводство,	Зерновые 16,5 ц/га. Зернобобовые 17,0 ц/га. Картофель 175,0 ц/га. Овощи 270,4 ц/га. Семена льна – 10 ц/га	1,7
Алтайский край	326	Зерновое производство, возделывание сахарной свёклы и масличных культур, льноводство, овощеводство, многолетние травы	Зерновые 15,1 ц/га. Зернобобовые 13,9 ц/га. Картофель 153,6 ц/га. Овощи 210,5 ц/га. Многолетние травы на зелёный корм, сенаж, силос – 73,1 ц/га. Лён 9,5 ц/га	492,3
Республика Алтай	2	Зерновое производство садоводство	Зерновые 12,8 ц/га	2,6
Красноярский край	126	Зерновое производство, овощеводство, картофелеводство	Зерновые 20,8 ц/га. Зернобобовые 18,6 ц/га. Картофель 160,3 ц/га. Овощи 240,2 ц/га	262,1
Иркутская область	1	Зерновое производство, картофелеводство, овощеводство	Зерновые 18,3 ц/га. Картофель 164,7 ц/га. Овощи 242,0 ц/га	1,8
Республики Тыва	61	Зерновое производство, кормопроизводство	Зерновые 10,5 ц/га. Сорго (зеленая масса) 152 ц/га. Суданская трава 180,0 ц/га	64,1
Республика Хакасия	540	Зерновое производство, овощеводство, садоводство	Зерновые 14,1 ц/га. Зернобобовые 14,5 ц/га. Овощи 220,4 ц/га	56,4

Таким образом, залежные земли регионов СФО являются базовым элементом для потенциального увеличения объемов сельскохозяйственной продукции. В условиях глобального потепления природно-климатические характеристики этих территорий существенно улучшатся для ведения сельского хозяйства, что позволит увеличить посевные площади как под зерновыми, так и под масличными культурами.

Однако стоит описать риски, которые вероятны при освоении новых территорий в Сибирском федеральном округе.

Во-первых, это увеличение числа природно-климатических катаклизмов: наводнения, пожары и засухи. Осваиваемые территории могут оказаться подверженными этим угрозам, что затруднит ведение хозяйственной деятельности и создаст дополнительные затраты на защиту инфраструктуры и имущества [14].

Во-вторых, вероятная деградация верхних слоев многолетнемерзлых грунтов может привести к тому, что почва потеряет свою прочность и устойчивость. Это может вызвать просадку и деформацию земельных участков, используемых для сельского хозяйства. В результате могут возникать трещины, провалы и неровности, что делает обработку земли затруднительной или невозможной. Кроме того, ослабленная структура почвы становится более подверженной водной и ветровой эрозии, что может привести к смыву верхнего плодородного слоя и еще большему ухудшению качества земель. Деградация верхних слоев многолетнемерзлых грунтов при вовлечении в сельскохозяйственный оборот этих земель в условиях глобального изменения климата в Сибири представляет собой серьезную угрозу для устойчивости агроэкосистем и долгосрочной продуктивности сельского хозяйства.

В-третьих, возможны непрогнозируемые вспышки заболеваний у сельскохозяйственных животных и растений [15]. Глобальное потепление создает благоприятные условия для распространения болезней, которые раньше не встречались в данном регионе, а также усиливает интенсивность существующих инфекций. В растениеводстве возможно появление новых вредителей культур [16]. Повышенные температуры и стрессовые условия могут ослабить иммунную систему животных и растений, делая их более восприимчивыми к инфекциям. Это увеличивает вероятность массовых вспышек заболеваний. Крайне важен постоянный мониторинг здоровья сельскохозяйственных животных и растений с

помощью инновационных технологий, что поможет предотвратить массовые вспышки.

В-четвертых, вероятно нарушение экологического равновесия, вытеснение одних биологических видов другими представляет собой одну из самых серьезных угроз для биоразнообразия и устойчивости экосистем региона [16, 17]. Это может иметь серьезные последствия для здоровья и благополучия как сельских, так и городских жителей макрорегиона. Для предотвращения этого риска необходима охрана биоразнообразия, контроль за инвазивными видами животных и растений, проведение регулярного мониторинга экосистем.

ВЫВОДЫ

1. В условиях глобальных климатических изменений отрасль растениеводства в Сибири оказывается в ситуации, когда ей предстоит столкнуться с серьезными вызовами и одновременно воспользоваться новыми возможностями. Смещение природно-климатических зон, связанное с повышением средних годовых температур, ведет к значительным изменениям в структуре и объемах сельскохозяйственного производства. В ряде регионов, таких как Красноярский край, Республика Тыва и Республика Хакасия, ожидаются наиболее благоприятные условия для роста урожайности (например, увеличение продолжительности вегетационного периода), что открывает перспективы для расширения посевных площадей и выращивания новых видов культур, в том числе позднеспелых сортов.

2. Важным резервом для расширения посевных площадей сельскохозяйственного производства являются залежные земли. Их постепенное вовлечение в сельскохозяйственный оборот позволит создать мультипликативный эффект в сельскохозяйственной и перерабатывающей отраслях. Однако освоение новых территорий связано с рядом рисков, включая увеличение числа природных катаклизмов, деградацию верхних слоев многолетнемерзлых грунтов, непрогнозируемые вспышки заболеваний у сельскохозяйственных животных и растений, а также нарушение экологического равновесия. Поэтому необходимо принимать меры по адаптации к глобальным изменениям климата и минимизации возможных негативных последствий для отрасли растениеводства.

3. Успешное развитие сельского хозяйства в Сибири в условиях меняющегося климата требует

разработки комплексных стратегий, направленных на эффективное использование ресурсов, минимизацию негативных воздействий на окружающую среду и обеспечение устойчивого роста. Важно активно внедрять инновационные агротехнические подходы, развивать инфраструктуру и под-

держивать научные исследования, направленные на адаптацию к новым климатическим реалиям. Только через такой всесторонний подход можно гарантировать стабильное развитие отрасли растениеводства в Сибири и сохранение ее роли в экономике региона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петухова М.С., Воронай Н.Н. К вопросу влияния природно-климатических факторов на сельское хозяйство Сибирского федерального округа // Экономика сельского хозяйства России. – 2024. – № 1. – С. 10–15.
2. Петухова М.С., Воронай Н.Н. Сценарные условия долгосрочного развития сельских территорий Сибири в условиях изменения климата // Экономика сельского хозяйства России. – 2024. – № 11. – С. 103–108.
3. Петухова М.С., Кондратьев М.В. Изменение климата, сельские территории и сельское хозяйство в Сибири: форсайт-прогноз // ЭКО. – 2023. – № 8 (590). – С. 155–171.
4. Глобальная климатическая угроза и экономика России: в поисках особого пути // Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО, 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/341312998_Globalnaa_klimaticheskaya_ugroza_i_ekonomika_Rossii_v_poiskah_osobogo_puti (дата обращения: 21.09.2024).
5. Папцов А.Г., Шеламова Н.А. Глобальная продовольственная безопасность в условиях климатических изменений. М., 2018. – 132 с.
6. How Does Climate Change Worry Influence the Relationship between Climate Change Anxiety and Eco-Paralysis? A Moderation Study / M. Innocenti, A. Perilli, G. Santarelli [et al.] // Climate. – 2023. – № 11(9). – P. 190.
7. Agnolucci, P., De Lipsis V. Long-run trend in agricultural yield and climatic factors in Europe // Climatic Change. – 2020. – Vol. 159. – P. 385–405.
8. Капитанов А.Н., Сизов О.А. Технология восстановления и использования земель, выбывших из сельскохозяйственного оборота // Агроекологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота: мат-лы Всерос. науч. конф. / Под ред. акад. А.Л. Иванова. – М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2008. – С. 174–183.
9. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв / Д.И. Люри, С.В. Горячкин, Н.А. Караваева [и др.]. – М., 2010. – 416 с.
10. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2020 году. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. – 384 с.
11. Голубев И.Г., Апатенко А.С., Севрюгина Н.С. Состояние и перспективы вовлечения залежных земель в оборот // Мелиорация. – 2021. – № 3(97). – С. 67–74.
12. Галкин Д.Г. Стратегия и тактика адаптации сельского хозяйства к последствиям изменения климата: региональный аспект // Grand Altai Research & Education. – 2021. – № 1. – С. 31–36.
13. Adaptation and resilience. United Nation Climate Change. URL: <https://unfccc.int/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/introduction> (дата обращения: 10.12.2023).
14. Климатические изменения и энергопереход / С.Ю. Глазьев, Л.Б. Безруков, А.В. Долголаптев [и др.] // Экономические стратегии. – 2023. – № 6(192). – С. 16–29.
15. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В.М. Катцова; Росгидромет. – СПб.: Научно-технологические технологии, 2022. – 676 с.
16. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner [et al.] // Cambridge University Press, USA. – 2013. – 1535 p.
17. Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications / S.M. Vicente-Serrano, S. Beguería, J.I. López-Moreno [et al.] // Earth Interactions. – 2012. – Vol. 16, № 10. – P. 1–27.

REFERENCES

1. Petukhova M.S., Voropai N.N., *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*, 2024, No. 1, pp. 10–15. (In Russ.)
2. Petukhova M.S., Voropai N.N., *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*, 2024, No. 11, pp. 103–108. (In Russ.)
3. Petukhova M.S., Kondratiev M.V., *ECO*, 2023, No. 8(590), pp. 155–171. (In Russ.)
4. *Global'naya klimaticheskaya ugroza i ekonomika Rossii: v poiskah osobogo puti* (The global climate threat and the Russian economy: in search of a special path), Energy Center of the Moscow School of Management SKOLKOVO, 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/341312998_Globalnaa_klimaticheskaya_ugroza_i_ekonomika_Rossii_v_poiskah_osobogo_puti (accessed 09/21/2024). (In Russ.)

5. Paptsov A.G., Shelamova N.A., *Global'naya prodovol'stvennaya bezopasnost' v usloviyah klimaticheskikh izmenenij* (Global food security in the context of climate change), Moscow, 2018, 132 p.
6. Innocenti M., Perilli A., Santarelli G., et al., How Does Climate Change Worry Influence the Relationship between Climate Change Anxiety and Eco-Paralysis? A Moderation Study, *Climate*, 2023, No. 11, pp. 190.
7. Agnolucci P., De Lipsis V., Long-run trend in agricultural yield and climatic factors in Europe, *Climatic Change*, 2020, Vol. 159, pp. 385–405.
8. Kashtanov A.N., Sizov O.A., *Agroekologicheskoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya zemel' Rossii, vybyvshikh iz aktivnogo sel'skokhozyaystvennogo oborota* (Agroecological condition and prospects for the use of lands in Russia that have been eliminated from active agricultural turnover), Materials of the All-Russian Scientific conference, 2008, pp. 174–183. (In Russ.)
9. Lurie D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A. et al., *Dinamika sel'skohozyajstvennykh zemel' Rossii v HKH veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv* (Dynamics of agricultural lands in Russia in the twentieth century and post-agrogenic restoration of vegetation and soils), Moscow, 2010, 416 p.
10. *Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya Rossiyskoy Federatsii v 2020 godu* (Report on the state and use of agricultural lands of the Russian Federation in 2020), Moscow: FSBI Rosinformagrotech, 2022, 384 p.
11. Golubev I.G., Apatenko A.S., Sevryugina N.S., *Melioratsiya*, 2021, No. 3(97), pp. 67–74. (In Russ.)
12. Galkin D.G., *Grand Altai Research & Education*, 2021, No. 1, pp. 31–36. (In Russ.)
13. *Adaptation and resilience*. United Nation Climate Change. URL: <https://unfccc.int/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/introduction> date of reference (10.12.2023).
14. Glazyev S.Yu., Bezrukov L.B., Dolgolaptev A.V. et al., *Ekonomicheskie strategii*, 2023, No. 6(192), pp. 16–29. (In Russ.)
15. *Tretij ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii* (The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation), Roshydromet, Sankt-Petersburg, 2022, 676 p.
16. Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K. et al., *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, USA. 1535 pp.
17. Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I. et al., Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications, *Earth Interactions*, 2012, Vol. 16, No. 10, pp. 1–27.

Информация об авторах:

М.С. Петухова, доктор экономических наук

С.Л. Добрянская, кандидат биологических наук

Contribution of the authors:

M.S. Petukhova, Doctor of Economics

S.L. Dobryanskaya, Candidate of Biological Sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ САХАРОЗЫ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РЕГЕНЕРАНТОВ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ

А.А. Потешкина, В.А. Апарина, В.В. Пискарев

Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук (Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал), пос. Краснообск Новосибирской обл., Россия

E-mail: aparina.viktoriya@yandex.ru

Для цитирования: Потешкина А.А., Апарина В.А., Пискарев В.В. Влияние концентрации сахарозы на рост и развитие регенерантов земляники садовой // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 79–87. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-79-87.

Ключевые слова: земляника садовая (*Fragaria × ananassa* Duch.), сахароза, *in vitro*, адаптация, *ex vitro*.

Реферат. Цель исследования заключалась в оптимизации этапов микроклонального размножения земляники садовой. Для введения в культуру *in vitro* сорта Елизавета 2 и селекционной линии K_{10} в качестве экспланта использовали точки роста усов первого порядка с применением схемы стерилизации: мыльный раствор; проточная вода; 70 % этанол; 12 % H_2O_2 . На этапе собственно микроразмножения применяли среду Мурасиге–Скуга, с концентрацией сахарозы 0, 10, 20, 30 г/л, дополненную 0,5 мг/л 6-бензиламинопурином (БАП). Заключительный этап работы включал определение способности регенерантов адаптироваться к условиям *ex vitro*. В качестве субстрата использовали вермикулит, повторность опыта трехкратная. Произведен учет по количеству корней и микрорастений с экспланта, а также их жизнеспособности на этапе адаптации. Сорт Елизавета 2 и линия K_{10} не имели статистически значимых различий по увеличению количества микропобегов. У сорта Елизавета 2 на варианте с добавлением 30 г/л сахарозы отмечена тенденция снижения на 2,03 шт. ($HCP_{05} = 4,09$), а количество корней на 3,23 шт. статистически значимо превышало значение показателя на контрольной среде (20 г/л сахарозы; $HCP_{05} = 2,64$). На питательной среде с добавлением 10 г/л сахарозы количество корней снижалось на 3,77 шт., а на среде без сахарозы – на 8,38 шт. Селекционная линия K_{10} не формировала корни на варианте без добавления сахарозы, а на остальных вариантах статистически значимых отклонений не наблюдалось. В условиях *ex vitro* микрорастения характеризовались 88,8–100 % жизнеспособностью после культивирования *in vitro* на вариантах с 20–30 г/л сахарозы. Адаптированные микрорастения, культивируемые *in vitro* на питании с 30 г/л сахарозы, имеют мощную корневую систему (Елизавета 2 на 6,42 шт. больше, линия K_{10} на 4,23 шт., $HCP_{05} = 4,86$) в сравнении с показателями на контрольном варианте.

INFLUENCE OF SUCCAROSE CONCENTRATION ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF STRAWBERRY REGENERANTS

А.А. Poteshkina, V.A. Aparina, V.V. Piskarev

Federal Research Center the Institution of Cytology and Genetics (Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – branch), pos. Krasnoobsk, Novosibirskaya obl., Russia

E-mail: aparina.viktoriya@yandex.ru

Keywords: strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.), sucrose, *in vitro*, adaptation, *ex vitro*.

Abstract. The aim of the study was to optimize the stages of garden strawberry micropropagation. To introduce the Elizaveta 2 variety and the K_{10} selection line into *in vitro* culture, the growth points of the first-order runners were used as explants using the following sterilization scheme: soap solution; running water; 70% ethanol; 12 % H_2O_2 . At the stage of micropropagation itself, Murashige-Skoog medium was used with a sucrose concentration of 0, 10, 20, 30 g/l, supplemented with 0.5 mg/l 6-benzylaminopurine (BAP). The final stage of the work included determining the ability of the regenerates to adapt to *ex vitro* conditions. Vermiculite was used as a substrate. The experiment was repeated three times. The number of roots and microplants from the explant, as well as their viability at the adaptation stage, were recorded. The Elizaveta 2 variety and the K_{10} line did not have statistically significant differences in the increase in the number of microshoots. The Elizaveta 2 variety showed a tendency to decrease by 2.03 pcs. ($LSD_{05} = 4.09$) in the variant with the addition of 30 g/l sucrose, and the number of roots statistically significantly exceeded the value of the indicator on the control medium (20 g/l sucrose; LSD_{05}

= 2.64) by 3.23 pcs. On the nutrient medium with the addition of 10 g/l sucrose, the number of roots decreased by 3.77 pcs., and on the medium without sucrose – by 8.38 pcs. The K_{10} selection line did not form roots in the variant without the addition of sucrose, and no statistically significant deviations were observed in the other variants. Under *ex vitro* conditions, the micro plants were characterized by 88.8–100 % viability after *in vitro* cultivation on variants with 20–30 g/l sucrose. Adapted micro plants, cultivated *in vitro* on a diet containing 30 g/l of sucrose, have a powerful root system (Elizaveta 2 by 6.42 pcs. more, line K_{10} by 4.23 pcs., $LSD_{05} = 4.86$), compared to the indicators in the control variant.

Земляника садовая (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) относится к одной из самых востребованных ягодных культур в мире. Лидерами по производству плодов считают такие страны, как Китай, США, Турция, Мексика, Египет. На их долю приходится примерно 70 % всего мирового производства ягод земляники. В нашей стране выращивание и потребление свежих ягод значительно ниже, но тем не менее эта культура популярна [1, 2].

Плоды земляники имеют приятный вкус и непревзойденный аромат, их также используют в лечебных целях. Ягоды содержат уникальные биологические соединения, которые обладают антиоксидантной активностью и противовоспалительным действием. Употребление ягодных культур, в том числе плодов земляники, помогает снижать риски воспаления пищеварительной системы и развития рака толстой кишки, а также помогают в борьбе с диабетом второго типа. Все эти положительные качества делают землянику важной культурой для питания человека [1, 3].

Земляника садовая – теплолюбивая культура, поэтому в нашей стране выращивание ее в производственных масштабах ограничено из-за неподходящего климата. Валовый сбор земляники в России обеспечивает потребность лишь на 40 % свежей ягоды и на 20–30 % замороженного сырья. Большую часть спроса восполняют благодаря импорту, однако сегодня наблюдают трудности в полноценном обеспечении рынка этой ягодной культурой. В связи с этим появилась потребность в быстром увеличении производственных площадей. Однако в производстве зачастую применяют старые традиционные методы и технологии. Современные же методики могли бы улучшить качество посадочного материала [4, 5].

Период длительного вегетативного размножения растений земляники приводит к тому, что в посадочном материале накапливается большое количество патогенной микрофлоры, которая ведет к потерям урожая до 80 %. К основным патогенам этой культуры относят вирус морщинистости (SCV), вирус крапчатости (SMoV) и вирус окаймления жилок земляники (SVBV), а также ряд заболеваний, вызванных бактериальной

инфекцией. С помощью метода микроклонального размножения можно обеспечить производство безвирусным посадочным материалом. Это позволяет снизить применение химического метода защиты, тем самым уменьшает затраты и экологическую нагрузку в процессе выращивания [5–7].

Размножение *in vitro* – современный метод, который широко используют для получения оздоровленного посадочного материала земляники садовой во всем мире. При всех достоинствах микроклонального размножения существует значимый недостаток – его стоимость, однако оптимизация отдельных элементов позволит снизить некоторые затраты. Например, исследователи для этого вместо очищенной сахарозы используют обычный сахар или жидкие среды [8, 9].

Один из основных этапов микроклонального размножения – подбор питательной среды для эксплантов. Известно, что большое количество легкоусвояемых сахаров может привести к накоплению крахмала и сахарозы в листьях, что снижает синтез хлорофилла. Растения при этом могут терять способность к адаптации в условиях *ex vitro*. Для улучшения фотосинтезирующей способности необходимо уменьшать количество добавляемой сахарозы в питательной среде. Таким образом, уменьшение количества сахарозы в питании помогает оптимизировать затраты и тем самым сделать технологию более доступной [10].

Ряд исследователей предлагает заменить традиционную технологию *in vitro* на размножение на безуглеродной среде. Источником углерода служит CO_2 , который поступает в сосуд для культивирования с помощью прямого впрыскивания, через специальные мембраны. Выращивание земляники данным способом имело положительные результаты, все растения показали высокую фотосинтезирующую способность. Однако метод требует более сложных условий, таких как правильное освещение и вентиляция, а также дополнительное оборудование лаборатории, что приводит к новым затратам и удорожанию технологии [10].

Для размножения земляники традиционным методом *in vitro* используют среду MS (Murasige & Scoog medium), в которой концентрация сахара

варьирует от 20 до 50 г/л. В большинстве протоколов по размножению культуры указывают 30 г/л сахарозы [5, 9, 11].

По данным различных исследований, процесс адаптации к условиям *ex vitro* очень сложный. На этом этапе может погибать значительная часть микрорастений (до 95 %). В качестве субстрата для адаптации применяют торф, вермикулит, песок, перлит и их различные сочетания [12–14].

Однако не каждый субстрат одинаково подходит для адаптации растений в условиях *ex vitro*. Например, в работах отдают предпочтение вермикулиту, а применение его в составе почвосмеси может способствовать высокому развитию и росту растений. Некоторые исследователи отмечают высокую жизнеспособность (от 90,8 до 100 %) культивируемых микрорастений, посаженных на вермикулит на этапе адаптации. Показатели роста и развития земляники отличались в лучшую сторону от контрольной среды, состоящей из почвенного субстрата [15].

Цель исследования заключалась в оптимизации этапов микроклонального размножения земляники садовой.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работы по микроклональному размножению земляники садовой осуществляли в лаборатории биотехнологии СибНИИРС – филиал ФИЦ ИЦИГ СО РАН. В качестве объекта исследования были выбраны ремонтантный сорт Елизавета 2 и ремонтантная селекционная линия K_{10} , требуемые для закладки питомника конкурсного сортоиспытания. Елизавета 2 используется как сорт-стандарт, а селекционная линия K_{10} – перспективная селекционная линия.

Инициальным эксплантом были точки роста усов материнского растения первого порядка. Для стерилизации применили следующую схему: мыльный раствор (на ночь 16 ч); промывка проточной водой; 70%-й этанол (30 с); 12%-й H_2O_2 (5 мин).

Жизнеспособность и условия асептики экспланта оценивали визуально и выражали в процентах. Среди асептических образцов на 14–15 сут подсчитывали количество развивающихся эксплантов.

После размножения на модифицированной среде MS микрочеренки пересажены на варианты питания для определения зависимости корнеобразования и побегообразования от количества сахарозы в питательной среде: без сахарозы; 10 г/л

сахарозы; 20 г/л сахарозы (контрольная среда); 30 г/л сахарозы. Ряд исследователей проводят опыты по микроразмножению земляники с использованием 30 г/л сахарозы. В связи с этим самой высокой была выбрана концентрация сахарозы в питательной среде 30 г/л [5, 9, 11].

Условия культивирования на всех этапах эксперимента: фотопериод 16/8 ч при освещенности лампами 10 кЛк и температуре 24 ± 2 °С. Опыт закладывали в трех повторениях, в трех повторностях во времени. Культивирование проводили в течение двух месяцев (период субкультивирования составлял 28–30 сут) с одной пересадкой на свежую питательную среду. Учет результатов проводили в конце каждого пассажа по таким показателям, как количество корней, шт., и число микрорастений с экспланта, шт.

Земляника в условиях *in vitro* часто образует корни без дополнительных гормонов роста [7], поэтому следующим этапом исследования была адаптация растений в условиях *ex vitro*. Для этого жизнеспособные микрорастения с развитой корневой системой были посажены в пластиковые теплички с крышкой, в заранее автоклавированный вермикулит фракцией 2–5 мм. Через одну неделю крышки тепличек приоткрыли на 1/3, через две недели крышки теплиц были полностью сняты. В таких условиях растения находились в течение месяца, затем были измерены показатели роста каждого микрорастения, а также определена жизнеспособность, %, культивируемых микропобегов. В некоторых работах было показано, что из-за повышения концентрации сахарозы в питательной среде может происходить снижение синтеза хлорофилла в растениях, как результат микрорастения хуже адаптируются и погибают [10].

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета данных Microsoft Office Excel 2010. Использовались формулы для вычисления статистических характеристик выборки: рассчитывали средние значения (\bar{x}), ошибки средних $S\bar{x}$. Использовался дисперсионный анализ (двухфакторный ANOVA, Snedecor), тесты Колмогорова–Смирнова и Лиллиефорса (для нормально распределенных данных) в программе Statistica v. 6.1. Различия проверялись на уровне $P \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сорт Елизавета 2 и линия K_{10} статистически значимых различий по увеличению количества микропобегов на всех вариантах питания отно-

сительно контрольного варианта (концентрация сахарозы 20 г/л) не имели.

У сорта Елизавета 2 на варианте питания с добавлением 30 г/л сахарозы отмечена тенденция снижения количества микропобегов с экспланта на 2,03 шт. ($НСР_{05} = 4,09$). При отсутствии легкоусвояемого углевода (концентрация сахарозы 0 г/л) у сорта Елизавета 2 отмечено статистически значимое снижение (на 5,22 шт.) количества

микропобегов с экспланта ($НСР_{05} = 4,09$). На питательной среде с добавлением 30 г/л сахарозы количество корней на 3,23 шт. статистически значимо превышало значение показателя на контрольной среде (концентрация сахарозы 20 г/л, $НСР_{05} = 2,64$), в то время как на питательной среде с добавлением 10 г/л сахарозы количество корней снижалось на 3,77 шт., а на среде без сахарозы – на 8,38 шт. (табл. 1).

Таблица 1

Влияние концентрации сахарозы на формирование корней и микропобегов земляники в условиях *in vitro* ($n = 21, \bar{x} \pm S\bar{x}$)

Effect of sucrose concentration on the formation of roots and microshoots of strawberries *in vitro* ($n = 21, \bar{x} \pm S\bar{x}$)

Сорт/линия	Сахароза, г/л	Корни, шт.	Микропобеги, шт.
К ₁₀	20 (контроль)	8,40±1,45	3,55±0,53
	0	0,00	2,50±0,41
	10	6,21±0,77	3,00±0,45
	30	10,35±0,82	2,35±0,29
Елизавета 2	20 (контроль)	9,81±1,17	6,86±1,54
	0	1,43±0,76	1,64±0,36
	10	6,04±0,83	5,08±0,89
	30	13,04±1,99	4,83±0,68
НСР ₀₅	Фактор А (сорт)	1,86	2,89
	Фактор В (концентрация сахарозы)	2,64	4,09

Селекционная линия К₁₀ (рис. 1, д) не формировала корни на варианте питания без добавления сахарозы, а на остальных вариантах питания статистически значимых отклонений от значения показателя на контрольной среде не наблюдалось.

Если сравнивать сорт Елизавета 2 и селекционную линию К₁₀, то по средним значениям трех повторностей опыта во времени можно сказать, что у сорта Елизавета 2 (рис. 1, в) показатель образования микропобегов на контрольном ва-

рианте статистически значимо превышает значение показателя линии К₁₀ (рис. 1, ж) на 3,31 шт. ($НСР_{05} = 2,89$). По образованию корней статистически значимые различия наблюдались на питании с добавлением 30 г/л сахарозы. Сорт Елизавета 2 (рис. 1, з) формировал больше корней на 2,69 шт., чем селекционная линия К₁₀ (рис. 1, з) ($НСР_{05} = 1,86$). На остальных вариантах питания существенной разницы между образцами не выявлено (см. табл. 1).



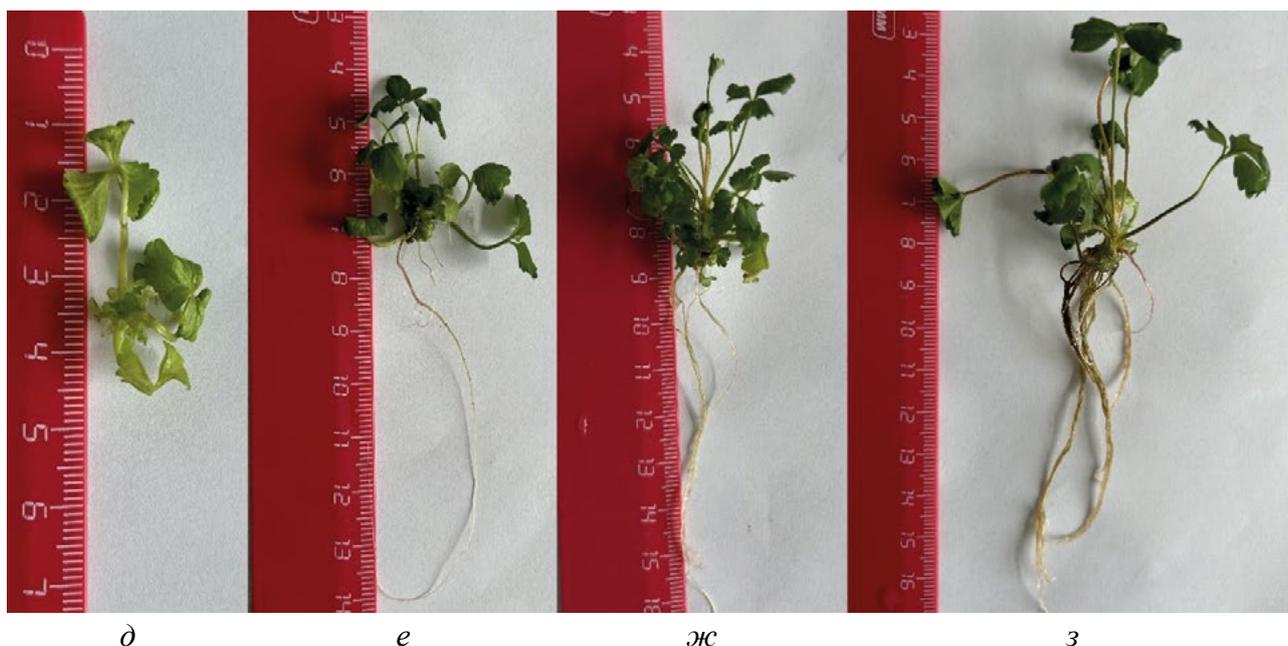


Рис. 1. Растения земляники садовой после культивирования *in vitro*: Елизавета 2 – а – 0 г/л, б – 10 г/л, в – 20 г/л, г – 30 г/л и К₁₀ – д – 0 г/л, е – 10 г/л, ж – 20 г/л, з – 30 г/л
 Garden strawberry plants after *in vitro* cultivation: Elizaveta 2 – а – 0 g/l, б – 10 g/l, в – 20 g/l, г – 30 g/l and К₁₀ – д – 0 g/l, е – 10 g/l, ж – 20 g/l, з – 30 g/l

В связи с отсутствием корней у линии К₁₀ из данных для расчета доли влияния фактора на проявление признака были исключены показатели, полученные на варианте без добавления сахарозы, как для селекционной линии К₁₀, так и для сорта Елизавета 2.

Доля влияния фактора В (концентрация сахарозы) на побегообразование в общем варьировании признаков составила 14,3 %, критерий Фишера достоверен ($F_{\text{факт}} = 7,06$, $F_{\text{табл}} = 3,07$), в то время

как влияние фактора А (сорт) составило 80,97 %, критерий Фишера достоверен ($F_{\text{факт}} = 52,45$, $F_{\text{табл}} = 3,92$) – рис. 2.

Доля влияния концентрации сахарозы в питательной среде (фактор В) на корнеобразование в общем варьировании признаков составила 82,47 %, критерий Фишера достоверен ($F_{\text{факт}} = 15,14$, $F_{\text{табл}} = 3,07$), в то время как влияние фактора А (сорт) составило 5,86 %, критерий Фишера не достоверен ($F_{\text{факт}} = 2,51$, $F_{\text{табл}} = 3,07$) – см. рис. 2.

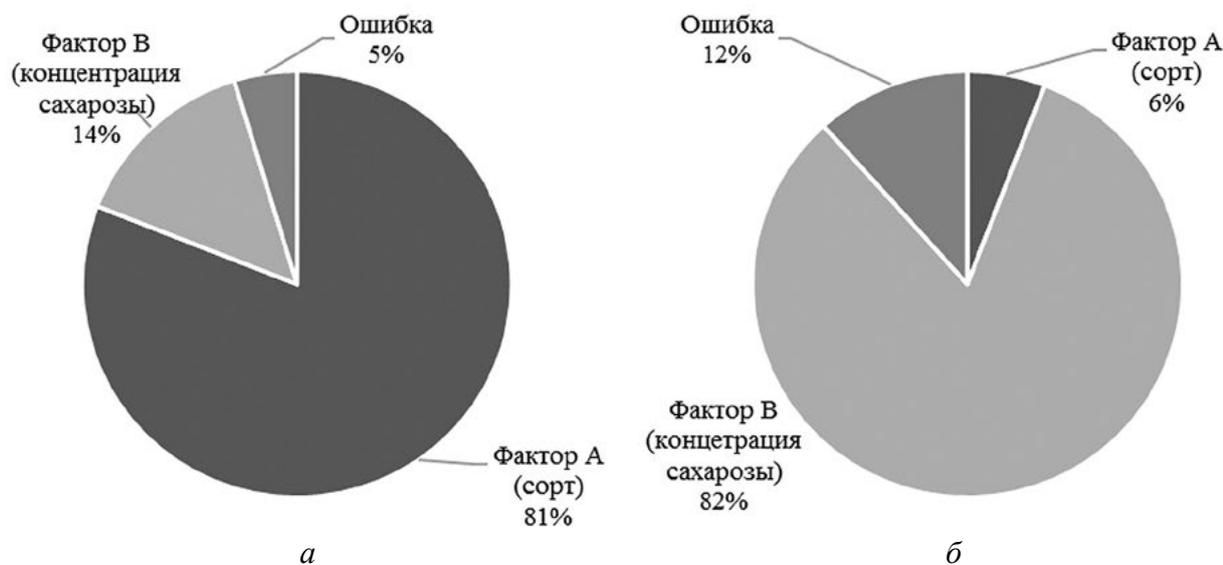


Рис. 2. Доля влияния факторов, %, на количество микропобегов – а и корнеобразование в период размножения – б
 The share of influence of factors, %, on the number of microshoots – а and root formation during the reproduction period – б

Второй этап исследования заключался в определении влияния концентрации сахарозы в питательной среде на дальнейшее развитие и

возможность адаптироваться растениям в условиях *ex vitro*.

Таблица 2

Влияние концентрации сахарозы на жизнеспособность и развитие микропобегов в условиях *ex vitro* ($n = 9, \bar{x} \pm S_x$)
Effect of sucrose concentration on viability and development of microshoots under *ex vitro* conditions ($n = 9, \bar{x} \pm S_x$)

Сорт	Сахароза, г/л	Корни, шт.	Микропобеги, шт.	Жизнеспособность, %
К ₁₀	20 (контроль)	11,33±1,22	1,78±0,66	100
	10	8,00±2,18	1,11±0,58	88,8
	30	15,56±1,72	1,22±0,22	100
Елизавета 2	20 (контроль)	16,78±2,74	1,33±0,29	88,8
	10	16,43±2,42	1,00±0,00	77,8
	30	23,50±1,89	2,00±0,63	100
НСР ₀₅	Фактор А (сорт)	3,97	1,58	15,92
	Фактор В (концентрация сахарозы)	4,86	1,93	19,50

В результате исследования было выявлено, что в условиях *ex vitro* растения земляники имеют высокую (88,8–100 %) жизнеспособность после культивирования *in vitro* на вариантах с концентрацией сахарозы 20–30 г/л (табл. 2).

Микрорастения сорта Елизавета 2, выращенные на питательной среде с концентрацией сахарозы 10 г/л, в процессе адаптации теряли свою жизнеспособность до 77,8 %, что на 22,5 % ниже, чем микрорастения, полученные на варианте питания с 30 г/л сахарозы. Корневая система сорта лучше развивается после культивирования эксплантов на варианте с добавлением 30 г/л сахарозы (рис. 3, в), формируя на 7,07 шт. больше, чем на контрольном варианте (НСР₀₅ = 4,86). Статистически значимых отклонений по количеству микропобегов от значения показателя на контрольной среде не наблюдалось.

Микрорастения селекционной линии К₁₀ в процессе адаптации формируют 11,33 шт. корня после выращивания на контрольной среде, в то время как при повышении концентрации сахарозы до 30 г/л (рис. 3, е) отмечается тенденция к увеличению количества корней на 4,23 шт. При снижении в питании сахарозы до 10 г/л наблюдается тенденция к снижению количества корней на 3,33 шт. (рис. 3, з). При сравнении сорта Елизавета 2 и селекционной линии К₁₀ на этапе адаптации было выявлено, что сорт Елизавета 2 после культивирования на всех вариантах питания *in vitro* имеет лучшее развитие корневой системы. Так, на контрольном варианте превышение по количеству корней составило 5,45 шт., после 10 г/л сахарозы – на 8,43 шт., а после 30 г/л – на 7,94 шт. (НСР₀₅ = 3,97) (см. табл. 2, рис. 3).



Рис. 3. Растения земляники садовой после адаптации: Елизавета 2 – а – 10 г/л, б – 20 г/л, в – 30 г/л и К₁₀ – г – 10 г/л, д – 20 г/л, е – 30 г/л
 Garden strawberry plants after adaptation: Elizaveta 2 – a – 10 g/l, b – 20 g/l, c – 30 g/l and K₁₀ – g – 10 g/l, d – 20 g/l, e – 30 g/l

ВЫВОДЫ

1. Для снижения затрат на этапе собственно микроразмножения концентрацию сахарозы допустимо уменьшить до 10 г/л, так как количество микропобегов у образцов (Елизавета 2 – 5,08 шт., К₁₀ – 3,00 шт.) было на уровне с контрольным значением (20 г/л, Елизавета 2 – 6,86 т., К₁₀ – 3,55 шт., НСР₀₅ = 4,09). При увеличении концентрации сахарозы до 30 г/л наблюдается тенденция снижения количества микропобегов. У сорта Елизавета 2 формируется на 2,03 шт. меньше, чем на контрольном варианте, а у селекционной линии К₁₀ – на 1,20 шт. с экспланта.

2. На этапе размножения оба образца способны к образованию корней. Самое большое количество корней у сорта Елизавета 2 и у селекционной линии К₁₀ (13,04; 10,35 шт. соответственно) наблюдалось на варианте с концентрацией сахарозы

30 г/л. Корни образовывались без гормона для укоренения. Следовательно, для этапа образования корней необходимо повышать концентрацию сахарозы в питательной среде до 30 г/л.

3. На этапе адаптации лучшая жизнеспособность у микрорастений (от 88 до 100 %) была после выращивания на вариантах питания с концентрациями 20 и 30 г/л. Адаптированные микрорастения, культивируемые *in vitro* на питании с 30 г/л сахарозы, имеют мощную корневую систему (Елизавета 2 на 6,42 шт. больше, а линия К₁₀ – на 4,23 шт., НСР₀₅ = 4,86) в сравнении с микрорастениями на контрольном варианте.

Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН FWNR-2022-0008.

В работе отсутствуют исследования на человеке или животных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Плоды земляники садовой (Fragaria × ananassa Duch.) как ценный источник пищевых и биологически активных веществ* / М.Ю. Акимов, И.В. Лукьянчук, Е.В. Жбанова [и др.] // Химия растительного сырья. – 2020. – № 1. – С. 5–18. – DOI: 10.14258/jcprm.2020015511.
2. *The status and future of the strawberry industry in the United States* // J.B. Samtani, C.R. Rom, H. Friedrich [et al.] // HortTechnology. – 2019. – Vol. 29. – N 1. – P. 11–24. – DOI:10.21273/HORTTECH04135-18.
3. *Protective effects of non-extractable phenolics from strawberry against inflammation and colon cancer in vitro* / M. Huang, Y. Han, L. Li [et al.] // Food Chemistry. – 2022. – Vol. 374. – Article 131759. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131759.
4. *Козлова И.И., Лукьянчук И.В., Жбанова Е.В. Сортимент и технология производства высококачественных ягод земляники садовой* // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 2. – С. 45–49. – DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10211.
5. *Айсанов Т.С. Результаты апробации модифицированной питательной среды в промышленной технологии производства безвирусного посадочного материала земляники методом in vitro* // Научные труды СКФНЦСВВ. – 2023. – Т. 37, № 1. – С. 95–99. – DOI: 10.30679/2587-9847-2023-37-95-99.
6. *Franova J., Pribylova J., Koloniuk I. Molecular and biological characterization of a new strawberry cytorhabdovirus* // Viruses. – 2019. – Vol. 11, No. 11. – Article 982. – DOI: 10.3390/v11110982.
7. *Матушкина О.В., Пронина И.Н. Технологические аспекты размножения земляники in vitro* // Селекция и сорторазведение садовых культур. – 2019. – Т. 6, № 1. – С. 74–77.
8. *Ламонова И.А., Верзилин А.В. Влияние стерилизатора на введение в культуру in vitro земляники садовой* // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4. – С. 57–61.
9. *Puscan R., Castro E.R.V., Chaname C.E.M. Combined effect of cytokinins on the in vitro propagation of three strawberry cultivars* // Revista Caatinga. – 2024. – Vol. 37. – Article e12180-e12180. – DOI: 10.1590/1983-21252024v3712180rc.
10. *Mixotrophic in vitro cultivations: the way to go astray in plant physiology* / H. Sevcikova, Z. Lhotakova, J. Hamet [et al.] // Physiologia plantarum. – 2019. – Vol. 167, N 3. – P. 365–377. – DOI: 10.1111/ppl.12893.
11. *Naser S.M., Abdulhussein M.A.A. Effect of sucrose in strawberry micro-propagation using platform bioreactor under temporary immersion system* // Revista Bionatura. – 2023. – Vol. 4. – P. 1–7. – DOI: 10.21931/RB/CSS/2023.08.04.94.
12. *Kornatskiy S. The final stage of micropropagation of garden strawberries* // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences. – 2024. – Vol. 486. – Article 01016. – DOI: 10.1051/e3sconf/202448601016.
13. *Efficient ex vitro rooting, acclimatization, and cultivation of Curcuma longa L. from mycorrhizal fungi* / M.P.S. Ferrari, R.M.S. Cruz, M.S. Queiroz [et al.] // Journal of Crop Science and Biotechnology. – 2020. – Vol. 23. – P. 469–482. – DOI: 10.1007/s12892-020-00057-2.
14. *Гусев Д.А., Плаксина Т.В. Развитие микрорастений сортов малины (Rubus idaeus L.) алтайской селекции на этапах ризогенеза in vitro и адаптации ex vitro* // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 9(215). – С. 31–36. – DOI: 10.53083/1996-4277-2022-215-9-31-36.

15. Рост и развитие регенерантов земляники ананасной (*Fragaria* × *ananassa* (Weston) Duchesne ex Rozier) на различных вермикулитовых субстратах при переводе из *in vitro* в *ex vitro* / М.А. Ярцева, А.Б. Хвостова, Л.А. Иванова, М.В. Слуковская // Труды Карельского научного центра РАН. – 2024. – № 7. – С. 91–101. – DOI: 10.17076/eb1915.

REFERENCES

1. Akimov M.Yu., Luk'yanchuk I.V. Zhanova E.V., Lyzhin A.S., *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, No. 1, pp. 5–18, DOI: 10.14258/jcprm.2020015511. (in Russ.)
2. Samtani J.B., Rom C.R., Friedrich H. et al., The status and future of the strawberry industry in the United States, *Hort-Technology*, 2019, Vol. 29, No. 1, pp. 11–24, DOI:10.21273/HORTTECH04135-18.
3. Huang M., Han Y., Li L., Rakariyatham K., Wu X., Gao Z., Xiao H., Protective effects of non-extractable phenolics from strawberry against inflammation and colon cancer *in vitro*, *Food Chemistry*, 2022, Vol. 374, pp. 131759, DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131759.
4. Kozlova I.I., Lukyanchuk I.V., Zhanova E.V., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2019, Vol. 33, No. 2, pp. 45–49, DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10211. (in Russ.)
5. Aysanov T.S., *Nauchnye trudy SKFNTsSVV*, 2023, Vol. 37, No. 1, pp. 95–99, DOI: 10.30679/2587-9847-2023-37-95-99. (in Russ.)
6. Fránová J., Příbylová J., Koloniuk I., Molecular and biological characterization of a new strawberry cytorhabdovirus, *Viruses*, 2019, Vol. 11, No. 11, pp. 982, DOI: 10.3390/v11110982.
7. Matushkina O.V., Pronina I.N., *Selektsiya i sortorazvedenie sadovykh kul'tur*, 2019, Vol. 6, No. 1, pp. 74–77. (in Russ.)
8. Lamonova I.A., Verzilin A.V., *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, No. 4, pp. 57–61. (in Russ.)
9. Puscan R., Castro E.R.V., Chanamé C.E.M., Combined effect of cytokinins on the *in vitro* propagation of three strawberry cultivars, *Revista Caatinga*, 2024, Vol. 37, pp. e12180–e12180, DOI: 10.1590/1983-21252024v37i2180rc.
10. Sevcikova H., Lhotakova Z., Hamet J., Lipavska H., Mixotrophic *in vitro* cultivations: the way to go astray in plant physiology, *Physiologia plantarum*, 2019, Vol. 167, No. 3, pp. 365–377, DOI: 10.1111/ppl.12893.
11. Naser S.M., Abdulhussein M.A.A., Effect of sucrose in strawberry micro-propagation using platform bioreactor under temporary immersion system, *Revista Bionatura*, 2023, Vol. 4, pp. 1–7, DOI: 10.21931/RB/CSS/2023.08.04.94.
12. Kornatskiy S., The final stage of micropropagation of garden strawberries, *Proceedings of the Conference Title AG-RITECH-IX 2023*, 2024, Vol. 486, pp. 01016, DOI: 10.1051/e3sconf/202448601016.
13. Ferrari M.P.S., Cruz R.M.S., Queiroz M.S., Andrade M.M., Alberton O., Magalhães H.M., Efficient *ex vitro* rooting, acclimatization, and cultivation of *Curcuma longa* L. from mycorrhizal fungi, *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 2020, Vol. 23, pp. 469–482, DOI: 10.1007/s12892-020-00057-2.
14. Gusev D.A., Plaksina T.V., *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2022, Vol. 9(215), pp. 31–36, DOI: 10.53083/1996-4277-2022-215-9-31-36. (in Russ.)
15. Yartseva M.A., Khvostova A.B., Ivanova L.A., Slukovskaya M.V., *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN*, 2024, No. 7, pp. 91–101, DOI: 10.17076/eb1915. (in Russ.)

Информация об авторах:

А.А. Потешкина, младший научный сотрудник

В.А. Апарина, младший научный сотрудник

В.В. Пискарев, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией

Contribution of the authors:

A.A. Poteshkina, Junior Researcher

V.A. Aparina, Junior Researcher

V.V. Piskarev, PhD in Agricultural Sciences, Head of Laboratory

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРГАНИЧЕСКИХ И ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ КУРИНОГО ПОМЕТА В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ БЕЛАРУСИ

^{1,2}Т.А. Садохина, ²Е.А. Матенькова, ²Т.В. Гаврилец, ²А.Ф. Петров, ^{2,3}В.П. Данилов, ^{1,2}А.В. Кокорин, ⁴Г.В. Пироговская, ⁴Ю.К. Шашко, ⁴С.С. Хмелевский, ⁵Д.Л. Зубаревич

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

³Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

⁴Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

⁵ООО «Агроминерал», Минск, Беларусь

E-mail: sadohina78@yandex.ru

Для цитирования: Эффективность органических и органоминеральных удобрений на основе куриного помета в лесостепной зоне Западной Сибири и на дерново-подзолистых почвах Беларуси / Т.А. Садохина, Е.А. Матенькова, Т.В. Гаврилец, А.Ф. Петров, В.П. Данилов, А.В. Кокорин, Г.В. Пироговская, Ю.К. Шашко, С.С. Хмелевский, Д.Л. Зубаревич // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 88–98. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-88-98.

Ключевые слова: соя, салат, картофель, урожайность, зеленая масса, клубни, органическое и органоминеральное удобрение, микрофлора, почва.

Реферат. Куриный помет содержит в своем составе комплекс полезных веществ, которые легко используются растениями, но из-за большого количества патогенов его применение может привести к загрязнению окружающей среды. В настоящее время перспективным направлением является использование птичьего помета после дополнительной обработки. Представлены результаты исследований, проведенных в условиях лесостепной зоны Западной Сибири в 2020–2023 гг. на полевом стационаре Сибирского научно-исследовательского института кормов СФНЦА РАН на черноземах выщелоченных среднесуглинистых с целью изучения влияния препаратов на основе куриного помета на продуктивность сои, возделываемой по паровому и зерновому предшественникам, и биологическую активность почвы. В исследованиях использовался переработанный куриный помет с применением кавитатора методом перерегонки сухого помета в виде 10% раствора в воде и получения различных по составу вариантов удобрений. Установлена возможность замены минеральных азотных удобрений органическими препаратами на основе куриного помета. Показано, что предпосевное внесение препаратов в почву и обработка по вегетации активизируют вегетативное развитие растений и способствуют повышению урожайности зеленой массы и зерна сои. При возделывании сои на зеленую массу рекомендуется внесение Препарата 1 по паровому предшественнику, что способствует достоверному увеличению урожайности зеленой массы на 3,3 т/га. По зерновому предшественнику – увеличение урожайности на 3,2 т/га. Достоверная прибавка при посеве сои на зерно получена при внесении Препаратов 1 и 2 по паровому предшественнику, выход зерна увеличился на 2,6–3,0 ц/га и Препарата 3 по зерновому предшественнику. Изложены также результаты агрохимической эффективности гранулированных органических и органоминеральных удобрений с модифицирующими добавками на основе куриного помета в полевых опытах с салатом и картофелем, показано их влияние на урожайность и качественные показатели возделываемых сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах Республики Беларусь в условиях 2023–2024 гг.

EFFICIENCY OF ORGANIC AND ORGANO-MINERAL FERTILIZERS BASED ON CHICKEN MANURE IN THE FOREST-STEPPE ZONE OF WESTERN SIBERIA AND ON SOD-PODZOLIC SOILS OF BELARUS

^{1,2}T.A. Sadokhina, ²E.A. Matenkova, ²T.V. Gavrillets, ²A.F. Petrov, ^{2,3}V.P. Danilov, ^{1,2}A.V. Kokorin,

⁴G.V. Pirogovskaya, ⁴Yu.K. Shashko, ⁴S.S. Khmelevsky, ⁵D.L. Zubarevich

¹Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

³*Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

⁴*Institute of Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

⁵*ООО Agromineral, Minsk, Belarus*

E-mail: sadohina78@yandex.ru

Keywords: soybeans, lettuce, potatoes, yield, green mass, tubers, organic and organomineral fertilizers, microflora, soil.

Abstract. *Chicken manure contains a complex of useful substances that are easily used by plants, but due to the large number of pathogens, its use can lead to environmental pollution. Currently, a promising direction is the use of poultry manure after additional processing. The article presents the results of studies conducted in the forest-steppe zone of Western Siberia in 2020–2023 at the field station of the Siberian Research Institute of Forage SFNCA RAS on leached medium-deep medium-loamy chernozems in order to study the effect of preparations based on chicken manure on the productivity of soybeans cultivated after fallow and grain predecessors, and the biological activity of the soil. The studies used processed chicken manure using a cavitator by distilling dry manure in the form of a 10% solution in water and obtaining fertilizers of various compositions. The possibility of replacing mineral nitrogen fertilizers with organic preparations based on chicken manure was established. It has been shown that pre-sowing application of preparations to the soil and vegetation treatment activate the vegetative development of plants and contribute to an increase in the yield of green mass and soybean grain. When cultivating soybeans for green mass, it is recommended to apply Preparation 1 to the fallow predecessor, which contributes to a reliable increase in the yield of green mass by 3.3 t/ha. To the grain predecessor - an increase in yield by 3.2 t/ha. A reliable increase in sowing soybeans for grain was obtained when applying Preparations 1 and 2 to the fallow predecessor, the grain yield increased by 2.6–3.0 c/ha and Preparation 3 to the grain predecessor. The article also presents the results of the agrochemical efficiency of granulated organic and organomineral fertilizers with modifying additives based on chicken manure in field experiments with lettuce and potatoes, and shows their influence on the yield and quality indicators of cultivated agricultural crops on sod-podzolic light loamy and loose sandy loam soils of the Republic of Belarus under the conditions of 2023–2024.*

Птицеводство – одна из наиболее быстро развивающихся отраслей сельского хозяйства не только в Российской Федерации и Беларуси, но и во всем мире [1]. Известно, что куриный помет является органическим удобрением с высоким содержанием питательных веществ (органического вещества, макро- и микроэлементов) и может быть, в зависимости от технологии выращивания птицы, как подстилочным, так и безподстилочным [2–4].

Имеются данные, что куриный помет по скорости действия и эффективности не уступает минеральным удобрениям [5–7].

Однако свежий куриный помет имеет ряд недостатков: при складировании его возле птицефабрик наблюдается загрязнение поверхностных и грунтовых вод, атмосферного воздуха и отмечается ускоренный рост и развитие яиц и личинок гельминтов и мух, а также патогенных микроорганизмов [8–9].

Вывоз свежего куриного помета непосредственно на поле ограничен (высокие затраты на транспортировку, санитарно-гигиенические ограничения, сложности при внесении в почву и т.д.), что предъявляет особые требования к его хранению и внесению [10–12].

Внесение в почву препаратов из переработанного куриного помета способствует активизации микробиологических процессов в почве. Это приводит к увеличению доступности растениям питательных элементов в почве, поддерживается положительный баланс органического вещества и азота [13–15].

Цель исследования – изучить влияние органических и органоминеральных удобрений на основе птичьего помета и других модифицирующих добавок на урожайность и продуктивность сои, картофеля и зеленных культур, их качество в лесостепной зоне Западной Сибири и на дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах Беларуси.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования в России проводились в 2020–2023 гг. в полевых опытах с соей на стационаре Сибирского научно-исследовательского института кормов СФНЦА РАН, расположенном в северной лесостепи Западной Сибири. Почва – чернозем выщелоченный среднемощный среднесуглинистый, содержание органического углерода в почве

3,48 %, pH 5,3. Предшественник – пар и зерновые культуры. Использовался сорт сои СибНИИК 315.

Исследования в Республике Беларусь проводили также в полевых опытах с сельскохозяйственными культурами в 2023–2024 гг. с салатом (первая и вторая ротации) и картофелем. Почвы – дерново-подзолистая легкосуглинистая (салат) и дерново-подзолистая рыхлосупесчаная (картофель). Объектом исследований являлись гранулированные органические удобрения на основе птичьего помета и органоминеральные удобрения на основе птичьего помета и модифицирующих добавок (КСI, фосфогипс, отсев горных пород гранита, аэросил). В качестве контроля использовалось удобрение гранулированное «Арганикум» на основе птичьего помета, которое в 2020 г. зарегистрировано в Республике Беларусь и внесено в «Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь». Производитель – ЗАО «Регион Био Девелопмент» (Республика Беларусь). Состав удобрения: содержание сухого вещества – не менее 80 %, элементов питания от сухого вещества в процентах: $N_{\text{общ}}$ – 2,8–5,0, P_2O_5 – 1,6–7,0, K_2O – 1,6–4,5, $ОВ$ – 60–90. Кроме того, удобрение содержит еще 16 аминокислот. Разрешено удобрение для применения почти на всех культурах.

Испытуемые органические и органоминеральные удобрения производили в опытно-промышленном масштабе в грануляторе «Соловей» на ООО «Агроминерал» (г. Солигорск).

Опыт с салатом кочанным (первая и вторая ротация) проводили на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (г. Минск), с картофелем – на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (фермерское хозяйство «Горизонт» Мостовского района Гродненской области).

Агрохимические показатели дерново-подзолистых почв:

– с салатом: содержание гумуса – 1,56–1,98 %; кислотность pH_{KCl} – 5,75–6,05; обеспеченность макроэлементами: P_2O_5 (по Кирсанову) – 250–316 и K_2O – 235–241 мг/кг почвы, CaO – 795–820, MgO – 158–189 мг/кг почвы;

– с картофелем: содержание гумуса – 1,63 %; кислотность pH_{KCl} – 6,40; обеспеченность макроэлементами: P_2O_5 (по Кирсанову) – 670 и K_2O – 429 мг/кг почвы, CaO – 1633 и MgO – 184 мг/кг почвы, содержание серы – 2,80 мг/кг почвы, со-

держание бора – 0,80 мг/кг почвы, меди – 1,80, цинка – 3,80 мг/кг почвы.

Использовался сорт салата кочанного Королева лета, картофель сорта Першацвет.

Климатическая характеристика объектов в России: по климатическим ресурсам это умеренно теплый, недостаточно увлажненный агроклиматический район. Среднегодовое количество осадков составляет 450 мм, из них 254 мм в теплый период года (апрель – сентябрь), за июнь – август выпадает 113 мм. Гидротермический коэффициент (по Селянинову) составляет 1,0–1,2, в период с температурой воздуха выше 10 °С. Сумма положительных температур выше + 10 °С в среднем 1880 °С, с отклонениями по годам от 1500 до 2250 °С.

Погодные условия вегетационных периодов в годы исследований отличались между собой и от среднемноголетних показателей, но в целом были благоприятными для роста и развития сои.

Климатическая характеристика объектов в Беларуси: количество выпавших атмосферных осадков (с мая по сентябрь 2023 г.) при возделывании салата кочанного на лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в Республике Беларусь составило 50,4 % от нормы (365 мм). Погодные условия при возделывании картофеля приведены только за 2024 г., так как в 2023 г. они не изучались. Сумма осадков составила 330,6 мм при многолетней норме 327,5 мм, ГТК – 1,15 при норме 1,43.

В российских исследованиях изучали три варианта органических удобрений на основе куриного помета, полученных кавитационно-вихревым способом. Обработка помета проводилась при температурах от 60 до 75 °С с использованием катализатора или без него. За контроль взяты варианты без внесения удобрений, с внесением куриного помета без обработки и азотные минеральные удобрения в дозе N_{60} . Посев проведен в третьей декаде мая по паровому и зерновому предшественникам. Повторность опытов 3-кратная. Расположение вариантов систематическое. Агротехника – общепринятая для зоны проведения исследований. Посевная и учетная площадь делянок 60 м². Внесение удобрений проведено в два срока: весеннее – в почву под предпосевную культивацию и по вегетации, в период формирования зерна.

Повторность опытов в Беларуси 4-кратная. Удобрения на делянки вносились вручную, равномерно по всей их площади. Расположение вариантов рендомизированное. Агротехника – обще-

принятая, согласно технологическим регламентам возделывания сельскохозяйственных культур. Учетная площадь делянок для салата кочанного 10 м², для картофеля – 30 м². В опытах проведен уход за посевами (обработка посевов против сорняков, болезней и вредителей) разрешенными для применения препаратами в Беларуси.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В российских исследованиях установлено, что урожайность зеленой массы и зерна сои различалась по годам и зависела как от метеорологических условий, так и от реакции растений на внесение препаратов. Не отмечено увеличения продолжительности вегетационного периода, засоренности посевов и ухудшения фитосанитарного состояния посевов сои при внесении

препаратов. В то же время отмечено достоверное положительное их влияние не только на почву, но и на рост и развитие растений. Несмотря на различия в урожайности зеленой массы сои по годам в 2 раза, в среднем за четыре года исследований, в варианте опыта без применения препаратов урожайность зеленой массы в среднем составила 15,2 т/га с выходом сухого вещества 3,4 т/га. На 3,3 т/га, или на 21 %, выше контрольного варианта был получен урожай от Препарата 1 по паровому предшественнику (как индикатора положительного влияния препаратов на растения сои). Сбор абсолютно сухого вещества составил 3,2 т/га, что на 0,8 т/га достоверно выше контрольного варианта и на 0,3–0,5 т/га выше варианта с внесением непереработанного куриного помета и азотного удобрения N₆₀ (табл. 1).

Таблица 1

Влияние органических удобрений на основе куриного помета на урожайность зеленой массы сои по пару, т/га (2020–2023 гг.)
The effect of organic fertilizers based on chicken manure on the yield of green mass of soybeans after fallow, t/ha (2020–2023)

Вариант	Урожайность зеленой массы						Сбор абсолютно сухого вещества					
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее	2022–2023 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее	2022–2023 г.
Контроль	15,7	23,4	12,5	9,0	15,2	10,75	4,0	4,7	2,8	2,0	2,4	3,4
Куриный помет	16,6	25,8	12,8	11,0	16,5	11,9	3,26	5,0	2,9	2,5	2,7	3,4
Препарат 1	17,0	28,8	13,3	14,8	18,5	14,0	4,3	6,1	3,0	3,4	3,2	4,2
Препарат 2	17,5	28,6	14,0	12,5	18,1	13,3	3,7	5,6	3,2	2,9	3,1	3,9
Препарат 3	–	24,7	14,6	13,8	17,7	14,2	–	5,3	3,5	3,2	3,4	4,0
Азотные удобрения, N ₆₀	16,0	22,3	13,4	12,6	16,0	13,0	3,1	4,6	3,2	2,7	2,9	3,4
НСР ₀₅	2,18	3,8	2,1	2,2	–							

Внесение органических препаратов на основе куриного помета под сою по зерновому предшественнику способствовало статистически значимому увеличению урожайности зеленой массы изучаемой культуры. Все препараты показали положительную динамику урожайности по сравнению с контролем, из трех наиболее эффективным оказался Препарат 1, который обеспечил достоверное увеличение урожайности

зеленой массы сои на 3,3 т/га (30 % к контролю) с увеличением на 22 % выхода абсолютно сухого вещества. Урожайность сои при внесении Препарата 1 была выше эквивалентов с внесением непереработанного куриного помета и азотного удобрения N₆₀ (табл. 2).

Таблица 2

Влияние органических удобрений на основе куриного помета на урожайность зеленой массы сои по зерновому предшественнику, т/га (2022–2023 гг.)
The influence of organic fertilizers based on chicken manure on the yield of green mass of soybeans based on the grain predecessor, t/ha (2022–2023)

Вариант	Урожайность зеленой массы			Сбор абсолютно сухого вещества		
	2022 г.	2023 г.	Среднее	2022 г.	2023 г.	Среднее
Контроль	16,4	11,15	13,7	3,6	2,6	3,1
Куриный помет	17,2	10,4	13,8	3,8	2,5	3,2
Препарат 1	18,8	15,35	17,0	4,3	3,8	4,0
Препарат 2	18,5	13,75	16,1	4,0	3,3	3,7
Препарат 3	20,2	11,3	15,7	4,4	2,7	3,6
Азотные удобрения, N ₆₀	18,8	12,0	15,4	4,0	2,6	3,3
НСР ₀₅	1,6	3,8	–			

На основании анализа показателей структуры урожая сои установлено, что внесение препаратов способствовало формированию оптимального количества продуктивных стеблей на единице площади. В зависимости от препарата он изменялся от 60±4 шт./м² по пару и до 64±3 шт./м² по зерновому предшественнику.

По паровому предшественнику на одном растении насчитывалось от 15 до 18 бобов, их

количество зависело от вносимых удобрений. При внесении препаратов 1 и 3 количество бобов увеличивалось на 3 шт. По зерновому предшественнику на одном растении в среднем сформировалось от 20 до 25 бобов. На вариантах опыта преобладали двух- и трехсемянные бобы, малопродуктивных односемянных бобов в урожае было 7–18 % (табл. 3).

Таблица 3

Влияние органических удобрений на основе куриного помета на формирование элементов структуры урожая сои, 2020–2023 гг.
The Effect of Organic Fertilizers Based on Chicken Manure on the Formation of Soybean Crop Structure Elements, 2020–2023

Вариант	По паровому предшественнику					По зерновому предшественнику				
	Кол-во бобов, шт.	Семян с рас-тением, шт.	Семян с рас-тением, г	Ветвей, шт.	Масса 1000 зерен, г	Кол-во бобов, шт.	Семян с рас-тением, шт.	Семян с рас-тением, г	Ветвей, шт.	Масса 1000 зерен, г
Контроль	15,1	20,6	3,9	1,9	165,2	20,3	34,0	5,5	2,0	170
Куриный помет	15,8	22,0	4,2	1,8	160,4	23,8	42,2	6,0	2,3	169
Препарат 1	18,3	24,7	4,7	2,0	164,2	24,7	44,0	6,0	2,5	170
Препарат 2	16,3	22,2	4,8	1,9	168,6	24,0	43,1	5,7	2,3	171
Препарат 3	18,2	26,2	5,0	2,1	168,6	23,5	41,7	6,1	2,3	174
Азотные удобрения, N ₆₀	16,9	22,3	4,4	1,9	168,0	22,4	40,7	5,7	2,0	172

Наименьшее число семян на одном растении было зафиксировано на контроле по паровому предшественнику – 20,6 шт. Применение органических и минеральных удобрений положительно сказалось на формировании большего количества зерен с одного растения. На вариантах с приме-

нием препаратов 1 и 3 сформировалось в среднем от 24,7 до 26,7 зерна на одно растение.

В посевах по зерновому предшественнику соя была лучше обеспечена влагой, это отразилось на основных структурных показателях растений. Также отмечена тенденция к увеличению коли-

чества семян на 2–3 шт. с растения и их массы на 0,4 г за счет поступления дополнительного питания с органическими удобрениями.

При корреляционном анализе структуры урожая у сои была отмечена наибольшая взаимосвязь урожайности с массой семян с одного растения ($r = 0,82-0,86$). Применение органических удобрений не отразилось на массе 1000 семян, на всех вариантах опыта этот показатель составлял 160 ± 6 г по пару и 173 ± 2 г по зерновому предшественнику. Анализ формирования урожайности зерна сои в зависимости от применяемых удобрений в комплексе с внекорневой подкормкой показал, что ее величина нестабильна по вариантам

и зависит от применяемого удобрения. По паровому предшественнику максимальная урожайность зерна сои получена в 2021 г. – 26–28 ц/га. Минимальная – 7,5 ц/га в условиях засушливой весны и начала лета 2023 г. В среднем за годы исследований при возделывании сои на зерно по пару в три года из четырех получен достоверный эффект от применения Препарата 2 с урожайностью 18,4 ц/га.

При возделывании сои по зерновому предшественнику получена достоверная прибавка урожайности при внесении в почву и обработке по вегетации Препаратом 3 – урожайность зерна 15,6 ц/га (табл. 4).

Таблица 4

Влияние органических удобрений на основе куриного помета на урожайность зерна сои, ц/га (2022–2023 гг.)

The impact of organic fertilizers based on chicken manure on the yield of soybean grain, c/ha (2022–2023)

Вариант	Паровой предшественник						Зерновой предшественник		
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее	2022–2023 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее
Контроль	19,2	23,0	12,0	7,5	15,4	9,8	15,7	9,5	12,6
Куриный помет	21,2	24,2	13,0	7,4	16,5	10,2	17,2	10,6	13,9
Препарат 1	21,4	26,0	15,2	8,4	17,7	11,8	18,8	10,4	14,6
Препарат 2	21,8	26,0	16,5	9,3	18,4	12,9	18,5	10,8	14,6
Препарат 3	–	28,0	15,5	9,5	17,6	12,5	20,0	11,2	15,6
Азотные удобрения N_{60}	18,8	25,3	14,5	8,9	16,8	11,7	18,1	11,5	14,8
$НСР_{05}$	2,2	1,3	1,5	1,4	–	–	3,0	3,2	–

В исследованиях на дерново-подзолистых почвах Беларуси эффективность органических и органоминеральных удобрений «Агролуг» испытывалась на салате и картофеле на двух фонах: на фоне внесения минеральных удобрений и в чистом виде в качестве органических удобрений (без минеральных удобрений). Их эффективность сравнивалась с органическим удобрением «Арганикум» при дозе внесения 2 т/га. Установлено, что удобрения, разработанные РУП «Институт почвоведения и агрохимии» совместно с ООО «Агроминерал», в условиях 2023–2024 гг. были эффективны на двух фонах применения как при возделывании салата кочанного, так и картофеля.

При возделывании салата кочанного в первой ротации в условиях вегетационного периода 2023 г. (май–июнь) была получена урожайность зеленой массы на контроле 110,3 ц/га, в варианте с фоном (смесь стандартных удобрений – карбамид, аммонизированный суперфосфат, калий

хлористый) – 122,5 ц/га, с эталоном «Арганикум» на фоне $N_{60}P_{50}K_{80}$ – 136,2 ц/га, в вариантах с удобрениями «Агролуг» (вар. 4–7а) на фоне $НРК$ – 143,0–156,0 ц/га. Применение в опыте перед посевом культуры испытываемых удобрений обеспечило достоверную прибавку урожайности зеленой массы салата в размере 9,7–19,8 ц/га по сравнению с эталоном ($НСР_{05} = 8,89$ ц/га). Применение в опыте перед посевом салата в первой ротации испытываемых удобрений в качестве органических удобрений (вар. 9–12а) обеспечило более высокую урожайность зеленой массы в размере от 156,0 до 164,1 ц/га по сравнению с эталоном (151,0 ц/га), с тенденцией или достоверной прибавкой к эталону 2 – от 5,0 до 13,1 ц/га ($НСР_{05} = 8,89$ ц/га) (табл. 5).

Таблица 5

Урожайность зеленой массы салата кочанного Королева лета (первая ротация) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в 2023 г., ц/га
Yield of green mass of cabbage lettuce Queen of Summer (first rotation) on sod-podzolic light loamy soil in 2023, c/ha

Вариант	Урожайность	Прибавка	
		к фону	к эталону
1. Контроль	110,3	–	–
2. N ₆₀ P ₅₀ K ₈₀ (KCl) – фон	122,5	–	–
3. Эталон 1 – Арганикум (2 т/га) + NPK	136,2	13,7	–
4. Испытуемое удобрение «Агролуг», 2 т/га + NPK	143,0	20,5	6,8
5. Испытуемое удобрение «Агролуг» (KCl), 2 т/га + NPK	145,9	23,4	9,7
6. Испытуемое удобрение «Агролуг» (отсев гранитных пород), 2 т/га + NPK	148,7	26,2	12,5
7. Испытуемое удобрение «Агролуг» (фосфогипс), 2 т/га + NPK	148,6	26,1	12,4
7а. Испытуемое удобрение «Агролуг» (фосфогипс + аэросил), 2 т/га + NPK	156,0	33,5	19,8
8. Эталон 2 – Арганикум (2 т/га ОВ)	151,0	28,5	–
9. Испытуемое удобрение «Агролуг», 2 т/га	164,1	41,6	13,1
10. Испытуемое удобрение «Агролуг» (KCl), 2 т/га	162,1	39,6	11,1
11. Испытуемое удобрение «Агролуг» (отсев гранитных пород), 2 т/га	161,0	38,5	10,0
12. Испытуемое удобрение «Агролуг» (фосфогипс), 2 т/га	156,0	33,5	5,0
12а. Испытуемое удобрение «Агролуг» (фосфогипс + аэросил), 2 т/га	158,0	35,5	7,0
НСР ₀₅	8,89	–	–

Во второй ротации урожайность зеленой массы была значительно ниже, чем в первой. Это объясняется засушливыми условиями в период произрастания салата. Урожайность зеленой массы изменялась в пределах от 99,0 ц/га на контроле до 81,5–111,3 ц/га в вариантах с применением удобрений. Внесение в опыте перед

посевом салата органоминеральных удобрений, т.е. испытуемых удобрений производства ООО «Агроминерал» как на фоне N₆₀P₅₀K₈₀, так и в чистом виде (2 т/га), обеспечило достоверное повышение урожайности зеленой массы салата с прибавкой к эталону 11,2–14,8 ц/га на первом блоке и 8,1–15,0 ц/га – на втором (табл. 6).

Таблица 6

Урожайность зеленой массы салата кочанного Королева лета (вторая ротация) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в 2023 г., ц/га
Yield of green mass of cabbage lettuce Queen of Summer (second rotation) on sod-podzolic light loamy soil in 2023, c/ha

Вариант	Урожайность	Прибавка к эталону
1	2	3
1. Контроль	99,0	–
2. N ₆₀ P ₅₀ K ₈₀ (KCl) – фон	111,3	–
3. Эталон 1 – Арганикум (2 т/га) + NPK	95,4	–
4. Испытуемое удобрение «Агролуг», 2 т/га + NPK	98,3	2,9
5. Испытуемое удобрение «Агролуг» (KCl), 2 т/га + NPK	109,1	13,7
6. Испытуемое удобрение «Агролуг» (отсев гранитных пород), 2 т/га + NPK	107,3	11,9
7. Испытуемое удобрение «Агролуг» (фосфогипс), 2 т/га + NPK	106,6	11,2

1	2	3
7а. Испытуемое удобрение «Агролуг» (фосфогипс+аэросил), 2 т/га) + NPK	110,2	14,8
8. Эталон 2 – Арганикум, 2 т/га	81,9	–
9. Испытуемое удобрение «Агролуг», 2 т/га	81,5	–0,4
10. Испытуемое удобрение «Агролуг» (КСI), 2 т/га	90,0	8,1
11. Испытуемое удобрение «Агролуг» (отсев гранитных пород), 2 т/га	91,2	9,3
12. Испытуемое удобрение «Агролуг» (фосфогипс), 2 т/га	93,8	11,9
12а. Испытуемое удобрение «Агролуг» (фосфогипс + аэросил), 2 т/га	96,9	15,0
НСР ₀₅	7,87	–

Качество салата листового оценивалось по содержанию нитратов. В первой ротации содержание нитратов, в зависимости от вариантов опыта, находилось в пределах от 617 до 1211 мг/кг сырой массы, соответственно во второй ротации – от 70,0 до 666 мг/кг сырой массы, при НДУ, равном 2500 мг/кг сырой массы. Содержание нитратов как в первой, так и во второй ротации было значительно ниже предельно допустимой концентрации во всех вариантах опыта.

Урожайность клубней картофеля Першацвет в условиях 2023–2024 гг. на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (фермерское хозяйство «Горизонт» Мостовского района Гродненской области) составила на контроле без удобрений 279 ц/га, в варианте с применением стандартных удобрений (эталон 1) – 303 ц/га, с испытываемыми

удобрениями на фоне NPK – от 329 до 348 ц/га, с прибавкой к эталону в размере от 20 до 39 ц/га, при НСР₀₅ = 33,1 ц/га. Урожайность сухого вещества клубней картофеля по вариантам изменялась в пределах от 52,9 (контроль без удобрений) до 55,8–66,0 ц/га (с удобрениями).

Прибавка клубней картофеля от применения испытываемых органоминеральных удобрений в чистом виде (на фоне без NPK), по сравнению с эталоном (Арганикум (2 т/га) составила от 15 до 23 ц/га (в зависимости от марки удобрения), при НСР₀₅ = 33,1 ц/га. Следует также отметить, что эффективность гранулированных органических удобрений «Агролуг», производства ООО «Агроминерал» как на первом, так и втором фоне была близкой с удобрениями «Арганикум» (табл. 7).

Таблица 7

Влияние гранулированных органических и органоминеральных удобрений на основе куриного помета на урожайность клубней картофеля Першацвет на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в 2023–2024 гг., ц/га

The effect of granulated organic and organomineral fertilizers based on chicken manure on the yield of potato tubers Pershatsvet on sod-podzolic loose sandy loam soil in 2023–2024, c/ha

Вариант	Урожайность	Прибавка		Урожайность сухого вещества
		к фону	к эталону	
1	2	3	4	5
1. Контроль без удобрений	279	–	–	52,9
4. Фон – N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₄₀	303	–	–	55,8
<i>На фоне NPK</i>				
10. Эталон 1 – Арганикум, 2 т/га + NPK	309	6	0	56,6
11. Испытуемое удобрение «Агролуг», 2 т/га + NPK	329	26	20	56,0
12. Испытуемое удобрение «Агролуг» (отсев гранитных пород), 2 т/га + NPK	329	26	20	61,1
13. Испытуемое удобрение «Агролуг» (фосфогипс + аэросил), 2 т/га + NPK	341	38	32	61,5
13а. Испытуемое удобрение «Агролуг» (фосфогипс), 2 т/га + NPK	343	40	34	61,9

1	2	3	4	5
14. Испытуемое удобрение «Агролуг» (KCl), 2 т/га + NPK	348	45	39	58,3
<i>Без NPK</i>				
5. Эталон 2 – Арганикум, 2 т/га ОВ	329	26	0	56,4
6. Испытуемое удобрение «Агролуг», 2 т/га	327	24	-2	57,3
7. Испытуемое удобрение «Агролуг» (отсев гранитных пород), 2 т/га	344	41	15	61,4
8. Испытуемое удобрение «Агролуг» (фосфогипс + аэросил), 2 т/га	347	44	18	63,4
8а. Испытуемое удобрение «Агролуг» (фосфогипс), 2 т/га	351	48	22	64,1
9. Испытуемое удобрение «Агролуг» (KCl), 2 т/га	352	49	23	66,0
НСР ₀₅	33,1	–	–	3,81

Качество клубней картофеля оценивалось по содержанию нитратов, крахмала и товарности клубней. Содержание нитратов в клубнях картофеля при уборке в ранние сроки (31.08.2023) в испытуемых вариантах было несколько ниже или на уровне эталонных вариантов. При поздних сроках уборки картофеля содержание нитратов не должно превышать 250 мг NО₃ на 1 кг сырой массы, а при ранних сроках уборки оно может быть в 1,5–2 раза выше согласно постановлению № 72 от 12.08.2006 о внесении дополнения в санитарные правила и нормы.

ВЫВОДЫ

1. В условиях лесостепной зоны Западной Сибири в исследованиях, проведенных в 2020–2023 гг., получен положительный эффект от применения препаратов на основе куриного помета, вносимых под сою. Установлена возможность замены минеральных азотных удобрений органическими препаратами на основе куриного помета. Отмечено, что предпосевное внесение препаратов в почву и обработка по вегетации активизировали вегетативное развитие растений и способствовали повышению урожайности зеленой массы и зерна сои.

2. При возделывании сои на зеленую массу рекомендуется внесение Препарата 1 по паровому предшественнику, что способствует достоверному увеличению урожайности зеленой массы сои на 3,3 т/га и по зерновому предшественнику – увеличение урожайности на 3,2 т/га по сравнению с контролем. Статистически значимая прибавка при посеве сои на зерно получена при внесении

препаратов 1 и 2 по паровому предшественнику, выход зерна увеличился на 2,6–3 ц/га, и препарата 3 по зерновому предшественнику.

3. На дерново-подзолистых почвах Беларуси установлено:

- применение органических и органоминеральных удобрений «Агролуг» (отсев горных пород гранита) под салат кочанный на фоне NPK способствовало повышению урожайности зеленой массы салата в первой ротации на 1,25 т/га, без NPK – 1,0 т/га, во второй ротации на 1,19 и 0,93 т/га при снижении содержания нитратов в зеленой массе салата. Под картофель – увеличение урожайности клубней на 20 и 15 ц/га, снижение содержания нитратов на 17–22 мг/кг сырой массы, увеличение содержания крахмала на 0,3–1,1 %, по сравнению с эталоном «Арганикум»;

- внесение органических и органоминеральных удобрений «Агролуг» (фосфогипс) под салат кочанный на фоне NPK способствовало повышению урожайности зеленой массы салата в первой ротации – на 1,24 и без NPK – 0,5 т/га и во второй ротации – на 1,12 ц/га и 1,19 т/га, при снижении содержания нитратов в зеленой массе салата на 243–260 (первая ротация) и 343–361 (вторая ротация) мг/кг сырой массы, соответственно под картофель – повышение урожайности клубней 3,4 и 2,2 т/га, снижение содержания нитратов – до 63 мг/кг сырой массы, увеличение содержания крахмала – на 0,4–0,8 % по сравнению с эталоном;

- внесение органоминерального удобрения «Агролуг» (фосфогипс + аэросил) под салат кочанный на фоне NPK способствовало повышению урожайности зеленой массы салата в первой ротации – на 1,98 и без NPK – 0,7 т/га и во второй ротации – на 1,48 и 1,5 т/га при снижении содержа-

ния нитратов в зеленой массе на 235–239 (первая ротация) и 344–356 (вторая ротация) мг/кг сырой массы, соответственно под картофель – повышение урожайности клубней 3,2 и 1,8 т/га, снижение содержания нитратов – до 59 мг/кг сырой массы, увеличение содержания крахмала – на 0,3–0,9 % по сравнению с эталоном;

– применение органоминерального удобрения «Агролуг» (КСI) под салат кочанный на фоне NPK обеспечивало повышение урожайности зеленой

массы в первой ротации – на 0,97 ц/га, без NPK – 1,11 т/га, во второй ротации – на 1,37 и 0,81 ц/га при снижении или равноценном содержании нитратов в зеленой массе на уровне эталона, соответственно под картофель – повышение урожайности клубней на 3,9 и 2,3 т/га, снижение содержания нитратов – на 29–62 мг/кг сырой массы, увеличение содержания крахмала на 0,3–0,9 % по сравнению с эталоном «Арганикум».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *A new method of biological disposal of poultry droppings* / M.B. Ulimbashev, M.I. Temmoev, N.V. Konik [et al.] // *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. – 2019. – Vol. 9, No. 1. – P. 4953–4956. – DOI: 10.35940/ijeat. A 2107.109119.
2. Антонова О.И., Калпокас В.В. Удобрительная, токсикологическая и ветеринарно-санитарная характеристика органического модифицированного удобрения на основе куриного помета // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2020. – № 6(188). – С. 58–63.
3. *Effect of Mineral-Microbial Deodorizing Preparation on the Value of Poultry Manure as Soil Amendment* / A.C. Żołnowski, T. Bakuła, E. Rolka, A. Klasa // *Int J Environ Res Public Health*. – 2022. – № 19(24). – P. 16639. – DOI: 10.3390/ijerph192416639.
4. *Справочник агрохимика* / В.В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии; под ред. акад. В.В. Лапа. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.
5. *Использование куриного помета для оптимизации питания сельскохозяйственных культур: монография* / И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, А.Г. Шмидт [и др.]. – Омск, 2022. – 136 с.
6. *Использование птичьего помета в земледелии Омской области: рекомендации производству* / В.М. Красницкий, И.А. Бобренко, А.Г. Шмидт [и др.]. – Омск, 2020. – 44 с.
7. *Effect of Different Fertilizations on the Plant-Available Nitrogen in Soil Profile (0-100 cm): A Study on Chinese Cabbage* / R. Ahmed, L. Mao, Y. Li [et al.] // *Front Plant Sci*. – 2022. – № 13. – P. 863760. – DOI: 10.3389/fpls.2022.863760.
8. *Красицкий В.М., Орлова Л.Н., Пунда Н.А.* Рекомендации по использованию птичьего помета в Омской области. – Омск, 1989. – 38 с.
9. *Куриный помет как органическое удобрение: технологии компостирования и влияние на почвенные свойства (обзор)* / М.В. Семенов, А.Д. Железова, Н.А. Ксенофонтова [и др.] // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. – 2023. – № 115. – С. 160–198. – DOI: 10.19047/0136-1694-2023-115-160-198.
10. *Щеткин Б.Н.* Утилизация отходов птицеводства – решение проблем экологической безопасности и ресурсосбережения. – Пермь, 2002. – 135 с.
11. *Новожилов Н.А.* Влияние больших доз куриного помета на свойства и состав дерново-подзолистых грунтово-оглеенных почв: дис. ... канд. с.-х. наук. – Н. Новгород, 2004. – 140 с.
12. *Effects of chicken manure substitution for mineral nitrogen fertilizer on crop yield and soil fertility in a reduced nitrogen input regime of North-Central China* / L. Ning, X. Xu, Y. Zhang [et al.] // *Front. Plant Sci*. – 2022. – № 13. – P. 1050179. – DOI: 10.3389/fpls.2022.1050179.
13. *Increasing yield and N use efficiency with organic fertilizer in Chinese intensive rice cropping systems* / M. Zhang, Y. Lin, Y. Tian, K. Ceng // *Field Crops Research*. – 2018. – Vol. 227. – P. 102–109. – DOI: 10.1016/j.fcr.2018.08.010.
14. *Использование куриного помета как удобрения на агрочерноземе Южного Предуралья* / И.М. Габбасова, Т.Т. Гарипов, Л.В. Сидорова [и др.] // *Агрохимия*. – 2016. – № 8. – С. 30–35.
15. *Практическое использование куриного помета при возделывании озимой пшеницы* / А.С. Ганиев, Ф.С. Сибатуллин, З.М. Халиуллина [и др.] // *Вестник НГИЭИ*. – 2022. – № 10(137). – С. 38–47. – DOI: 10.24412/2227-9407-2022-10-38-47.

REFERENCES

1. Ulimbashev M. B., Temmoev M. I., Konik N. V., Koshchayev A. G., Luneva A. V., Neverova O. P., Saleeva I. P., A new method of biological disposal of poultry droppings, *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 2019, Vol. 9, No. 1, pp. 4953–4956, DOI: 10.35940/ijeat. A 2107.109119.
2. Antonova, O.I., Kalpokas, V.V., *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo ag-rarnogo universiteta*, 2020, No. 6(188), pp. 58–63. (In Russ.)

3. Żołnowski A.C., Bakula T., Rolka E., Klasa A., Effect of Mineral-Microbial Deodorizing Preparation on the Value of Poultry Manure as Soil Amendment, *Int J Environ Res Public Health*, 2022, No. 19(24), pp. 16639, DOI: 10.3390/ijerph192416639.
4. Lapa V.V. [i dr.], *Spravochnik agrohimiya* (Agrochemist's Handbook), Minsk: IVC Minfina, 2021, 260 p.
5. Bobrenko I.A., Goman N.V., Shmidt A.G., Kormin V.P., Trubina N.K., *Ispol'zovanie kurinogo pometa dlya optimizatsii pitaniya sel'skohozyaj-stvennykh kul'tur* (Using chicken manure to optimize crop nutrition), 2022, 136 p.
6. Krasnickij V.M., Bobrenko I.A., Shmidt A.G., Goman N.V., Trubina N.K., Kormin V.P., Popova V.I., *Ispol'zovanie ptich'ego pometa v zemledelii Om-skoj oblasti* (Use of bird droppings in agriculture in Omsk region), Omsk, 2020, 44 p.
7. Ahmed R., Mao L., Li Y., Ding J., Lin W., Ahmed S., Abbas A., Ahmed W., *Effect of Different Fertilizations on the Plant-Available Nitrogen in Soil Profile (0-100 cm): A Study on Chinese Cabbage*, *Front Plant Sci.*, 2022, No. 13, pp. 863760, DOI: 10.3389/fpls.2022.863760.
8. Krasickij V.M., Orlova L.N., Punda N.A., *Rekomendacii po ispol'zovaniiu ptich'ego pometa v Omskoj oblasti* (Recommendations for the use of bird droppings in the Omsk region), Omsk, 1989, 38 p.
9. Semenov M.V., Zhelezova A.D., Ksenofontova N.A., Ivanova E.A., Nikitin D.A., *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 2023, No. 115, pp. 160–198, DOI: 10.19047/0136-1694-2023-115-160-198. (In Russ.)
10. Shchetkin B.N., *Utilizatsiya othodov pticevodstva – reshenie problem ekologicheskoy bezopasnosti i resursosberezheniya* (Poultry waste disposal – a solution to environmental safety and resource conservation issues), Perm', 2002, 135 p.
11. Novozhilov N.A., *Vliyanie bol'shih doz kurinogo pometa na svoystva i sostav derno-podzolistykh gruntovo-ogleennykh pochv* (The effect of large doses of chicken manure on the properties and composition of sod-podzolic ground-gleyed soils), Candidate's dissertation, Nizhny Novgorod, 2004, 140 p.
12. Ning L., Xu X., Zhang Y., Zhao S., Qiu S., Ding W., Zou G., He P., Effects of chicken manure substitution for mineral nitrogen fertilizer on crop yield and soil fertility in a reduced nitrogen input regime of North-Central China, *Frontiers in Plant Science*, 2022, No. 13, pp. 1050179, DOI: 10.3389/fpls.2022.1050179.
13. Zhang M., Lin Y., Tian Y., Ceng K., Increasing yield and N use efficiency with organic fertilizer in Chinese intensive rice cropping systems, *Field Crops Research*, 2018, Vol. 227, pp. 102–109, DOI: 10.1016/j.fcr.2018.08.010.
14. Gabbasova I.M., Garipov T.T., Sidorova L.V., Sulejmanov R.R., Nazyrova F.I., Bayazitova L.I., Komissarov A.V., Yaubasarov R.B., *Agrohimiya*, 2016, No. 8, pp. 30–35. (In Russ.)
15. Ganiev A.S., Sibagatullin F.S., Haliullina Z.M., Ziganshin B.G., Gajfullin I.H., *Vestnik NGIEI*, 2022, No. 10(137), pp. 38–47, DOI: 10.24412/2227-9407-2022-10-38-47. (In Russ.)

Информация об авторах:

Т.А. Садохина, кандидат сельскохозяйственных наук
 Е.А. Матенькова, кандидат биологических наук
 Т.В. Гаврилец, кандидат биологических наук
 А.Ф. Петров, доктор сельскохозяйственных наук
 В.П. Данилов, кандидат сельскохозяйственных наук
 А.В. Кокорин, аспирант
 Г.В. Пироговская, доктор сельскохозяйственных наук
 Ю.К. Шашко, доктор сельскохозяйственных наук
 С.С. Хмелевский, кандидат сельскохозяйственных наук
 Д.Л. Зубаревич, директор ООО «Агроминерал»

Contribution of the authors:

T.A. Sadokhina, Candidate of Agricultural Sciences
 E.A. Matenkova, Candidate of Biological Sciences
 T.V. Gavrilets, Candidate of Biological Sciences
 A.F. Petrov, Doctor of Agricultural Sciences
 V.P. Danilov, Candidate of Agricultural Sciences
 A.V. Kokorin, Postgraduate Student
 G.V. Pirogovskaya, Doctor of Agricultural Sciences
 Yu.K. Shashko, Doctor of Agricultural Sciences
 S.S. Khmelevsky, Candidate of Agricultural Sciences
 D.L. Zubarevich, Director of Agromineral LLC

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ БАКТЕРИАЛЬНЫХ И ГРИБНЫХ ШТАММОВ И ИХ АССОЦИАЦИЙ В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Т.К. Шешегова, Л.М. Щеклеина

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, Киров, Россия

E-mail: immunitet@fanc-sv.ru

Для цитирования: Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М. Использование новых бактериальных и грибных штаммов и их ассоциаций в технологии возделывания яровой пшеницы // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 99–105. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-99-105.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L. (яровая мягкая пшеница), *Trichoderma*, *Fischerella*, инокуляция семян, обработка посевов, болезни, урожайность, крупность зерна.

Реферат. Исследования выполнены в 2022–2024 гг. в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Впервые получены данные по эффективности новых грибных и бактериальных штаммов микроорганизмов с фиторегуляторными, фунгицидными и иммуномодулирующими свойствами, а также способы их применения при возделывании яровой пшеницы. Полевые исследования проведены на делянках площадью 1 м² в 4-кратной повторности. Впервые получена информация об эффективности использования новых грибных (*Trichoderma* spp., шт. К-01П) и бактериальных (*Fischerella muscicola* (Thur.) Gom., шт. 300) штаммов при возделывании яровой пшеницы сорта Баженка. Для этого монокультуральные штаммы микроорганизмов и их бинарные смеси использовали однократно (инокуляция семян) и двукратно (инокуляция семян и обработка посевов в фазу кущения). Сравнение экспериментальных данных вели с контролем (без инокуляции) и эталоном (биопрепарат Трихоцин). Выявлено избирательное действие штаммов *Trichoderma* spp. и *F. muscicola* и способов их применения на фитосанитарное состояние посевов и урожайность сорта Баженка. Эффективный биоконтроль корневых гнилей возможен при их двукратном применении (инокуляция семян и обработка посевов) как монокультурой, так и бинарной смесью. В этих вариантах количество пораженных растений снижалось на 10,3–11,4 % по отношению к контролю и на 5,9–7,0 % – к эталону (при НСР₀₅ = 5,3). Обнаружена более высокая, чем у эталонного препарата Трихоцин фунгицидность изучаемого штамма К-01П, что повышает перспективность его в качестве целевого биоагента. Изучаемые штаммы эффективны и в защите от септориоза при невысоком уровне развития болезни. Повышение устойчивости к грибным болезням положительно влияло и на продукционный процесс. Наиболее высокая урожайность (в среднем 245,7 г/м²) получена при обработке семян и посевов бинарной смесью *Trichoderma* spp. + *F. muscicola*, что выше контроля на 38,1 г/м², эталона – на 28,3 г/м² (при НСР₀₅ = 30,3).

USE OF NEW BACTERIAL AND FUNGAL STRAINS AND THEIR ASSOCIATIONS IN SPRING WHEAT CULTIVATION TECHNOLOGY

T.K. Sheshegova, L.M. Shchekleina

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

E-mail: immunitet@fanc-sv.ru

Keywords: *Triticum aestivum* L. (spring soft wheat), *Trichoderma*, *Fischerella*, seed inoculation, crop treatment, diseases, yield.

Abstract. The research was carried out in 2020–2023. at the Federal State Budgetary Institution FANTS of the North-East. For the first time, data have been obtained on the efficiency of new fungal and bacterial strains of microorganisms with phyto-regulatory, fungicidal and immunomodulatory properties and methods of their application in the cultivation of spring wheat. Field studies were conducted on plots of 1 m² in 4-fold replication. For the first time, information has been obtained on the efficiency of using new fungal (*Trichoderma* spp., pcs. K-01P) and bacterial (*Fischerellamuscicola* (Thur.) Gom., pcs. 300) strains in the cultivation of spring wheat of the Bazhenka variety. For this purpose, monoculture strains of microorganisms and their binary mixtures were used once (seed inoculation) and twice (seed inoculation and treatment of crops in the tillering phase). Comparison of experimental data was carried out with the control (without inoculation) and the standard (biopreparation Trichocin). The selective effect of *Trichoderma* spp. and *F. muscicola* strains and methods of their application on the phytosanitary

condition of crops and the yield of the Bazhenka variety was revealed. Effective biocontrol of root rot is possible with their double application (seed inoculation and crop treatment) both as a monoculture and a binary mixture. In these variants, the number of affected plants decreased by 10.3–11.4 % in relation to the control and by 5.9–7.0% – to the standard (at $HSR_{05} = 5.3$). A higher fungicidal activity of the studied strain K-01P than that of the standard drug Trichocin was found, which increases its prospects as a target bioagent. The studied strains are also effective in protecting against septoria at a low level of disease development. Increased resistance to fungal diseases also had a positive effect on the production process. The highest yield (on average 245.7 g/m^2) was obtained when treating seeds and crops with a binary mixture of *Trichoderma* spp. + *F. muscicola*, which is 38.1 g/m^2 higher than the control and 28.3 g/m^2 higher than the standard (with $HSR_{05} = 30.3$).

До настоящего времени основной стратегией контроля и сдерживания эпифитотий остается применение пестицидов. Несмотря на быстрое действие, радикальное решение проблемы и другие преимущества такой защитной технологии, широкое использование химических средств защиты способно приводить к неблагоприятным экологическим последствиям и ухудшению качества растениеводческой продукции [1]. Кроме того, вследствие постоянных мутационных процессов в популяциях фитопатогенов происходит образование более агрессивных рас, появляется резистентность их к пестицидам и возможны новые эпифитотии [2].

В качестве экологически безопасной альтернативы химическому методу защиты растений, наряду с возделыванием генетически устойчивых сортов, перспективно использование различных агентов биологического контроля, основанных на агрономически полезных микроорганизмах и/или их метаболитах. В рамках разработки новых биофунгицидов достаточно много исследований проводится в области изучения триады взаимоотношений «растение-антагонист – фитопатоген» [3, 4]. При этом для создания средств биологического контроля используются различные группы ризосферных микроорганизмов, среди которых одними из наиболее распространенных являются микровицеты рода *Trichoderma* Pers. ex Fr. [5–7]. Грибы рода *Trichoderma* располагают такими механизмами, как микопаразитизм, антибиоз, конкуренция, устойчивость к стрессам и дают возможность подавлять многие болезни культурных растений, вызываемых почвообитающими фитопатогенами: *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii*, *Phythium aphanidermatum*, *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, *F. oxysporum*, *F. culmorum* и др. [8]. Имеются сообщения о положительном влиянии представителей *Trichoderma* spp. на показатели урожайности многих сельскохозяйственных культур, включая пшеницу [9, 10]. Следует отметить, что яровая и озимая пшеница, как основная продовольственная культура России, является важным модельным объектом для исследований в

области экологически ориентированного адаптивного растениеводства [11]. Однако несмотря на широкую изученность фунгицидного и продукционного действия монокультуры видов *Trichoderma* spp., в литературе приводятся лишь единичные сведения о примерах использования этих микровицетов в сочетании с цианобактериальными штаммами, которые обладают множеством полезных свойств и с успехом используются при возделывании различных сельскохозяйственных культур. Многие из них обладают не только выраженным антифунгальным действием, но и другими агрономически ценными свойствами, включая стимуляцию роста и развития вегетативной массы и корневой системы растений за счет их гормональной регуляции, улучшения поглотительной способности, интенсификации микробиологических процессов в почве и мобилизации труднодоступных питательных элементов. Сочетанное действие разнообразных свойств микроорганизмов повышает адаптивность, болезнеустойчивость и продуктивность растений [12–14]. Однако растительно-микробные и внутримикробные взаимодействия в значительной степени подвержены влиянию средовых факторов (температура, осадки, влажность почвы и воздуха), что ограничивает использование микробных препаратов в прикладной сфере, в том числе из-за непредсказуемости результата.

Научное обоснование экологизации земледелия за счет внедрения биологизированных элементов агротехнологий наиболее актуально для основной продовольственной культуры России – пшеницы, которая, однако, восприимчива ко многим болезням и предъявляет повышенные требования к условиям вегетации [15].

Целью наших исследований было изучение фитосанитарного состояния и продукционного потенциала яровой мягкой пшеницы под действием обработки семян и посевов биотехнологически перспективными штаммами микроорганизмов.

Научная новизна – впервые на региональном уровне получены данные по антибиотической и продукционной эффективности новых грибовых

и бактериальных штаммов микроорганизмов с фиторегуляторными, фунгицидными и иммуномодулирующими свойствами, а также способы их применения при возделывании яровой пшеницы в условиях Кировской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом исследований в 2022–2024 гг. являлись изоляты гриба рода *Trichoderma* (штамм К-01П) и цианобактерии *Fischerella muscicola* (Thur.) Gom. (штамм 300), выделенные из почв Кировской области и предоставленные из коллекции фототрофных микроорганизмов кафедры биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии Вятского государственного агротехнологического университета, института инженерии и агробиотехнологии. Объектом исследований являлся районированный сорт яровой мягкой пшеницы Баженка.

Полевые эксперименты закладывали на фитопатологическом участке ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в соответствии со схемой опыта: 1 – контроль (без обработки семян и посевов), 2 – инокуляция семян (ОС) *Trichoderma* spp., 3 – инокуляция семян (ОС) и посевов (ОП) *Trichoderma* spp., 4 – инокуляция семян (ОС) *F. muscicola*, 5 – инокуляция семян (ОС) и посевов (ОП) *F. muscicola*, 6 – инокуляция семян (ОС) *Trichoderma* spp. + *F. muscicola*, 7 – инокуляция семян (ОС) и посевов (ОП) *Trichoderma* spp. + *F. muscicola*, 8 – инокуляция семян (ОС) биофунгицидом Трихоцин, СП (действующее вещество *Trichoderma harzianum*, штамм Г-30), 9 – инокуляция семян (ОС) и посевов (ОП) Трихоцин, СП (эталон). Действующим веществом эталонного варианта – препарата Трихоцин является один из видов рода *Trichoderma*, что явилось основанием для его сравнения с опытным штаммом К-01П *Trichoderma* spp. Обработку семян и посевов в фазу кущения растений осуществляли водноспоровыми суспензиями: *Trichoderma* spp. (титр $7,15 \pm 0,96 \cdot 10^7$ кон/мл), *F. muscicola* (титр $1,15 \pm 0,18 \cdot 10^7$ кл./мл), *F. culmorum* (титр $8,90 \pm 0,34 \cdot 10^5$ кон/мл) [3]. Титры суспензий определяли путем подсчета в камере Горяева в 4-кратной прорности. В вариантах с бинарной микробной инокуляцией семян и посевов соотношение в смеси *Trichoderma* spp. + *F. muscicola* – 1 : 1. Инокулом *Trichoderma* spp. готовили путем смыва конидий с поверхности питательной среды (картофельно-глюкозный агар). Перед обработкой

семян культуру *F. muscicola* гомогенизировали на малом гомогенизаторе MPW-302 (Польша) в течение 3 мин, режим скорости – 9000 об/мин. Расход рабочей жидкости – 1 мл/100 зерновок и 30 мл/м². Инокуляцию семян с последующим их подсушиванием проводили за сутки до посева, обработку посевов – утром, до наступления высокой температуры.

Повторность в полевых опытах четырехкратная, площадь делянок связи с инокуляцией семян опытными штаммами микроорганизмов небольшая – 1 м² при норме высева 300 семян/м². Посев проводили вручную. В течение вегетации осуществляли мониторинг распространения и развития корневых гнилей [16] и септориоза листьев [17]. Уборку проводили при полной спелости зерна, при учете урожая и анализа элементов продуктивности растений использовали общеизвестную методику [18].

Статистическая обработка проведена методом дисперсионного анализа с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.07.) и программы Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ранее проведенных нами исследованиях было выявлено преобладание положительных эффектов инокуляции семян яровой мягкой пшеницы консорциумом цианобактерии *Fischerella muscicola* и гриба *Trichoderma* spp. на фитосанитарное состояние посевов, элементы структуры и урожайность сорта Баженка. Это отчасти проявляется и при повышенной семенной инфекции, обусловленной инокуляцией семян суспензией конидий *F. culmorum* [19]. Однако продукционная и антибиотическая эффективность двойных обработок (семян и вегетирующих растений) под влиянием монокультур и бинарных микробных взаимодействий до настоящего времени не изучена, что явилось предметом дальнейших наших исследований.

Полученные данные свидетельствуют о значительном влиянии способа применения изучаемых штаммов микромицетов на развитие грибных болезней, урожайность и элементы продуктивности. В наших исследованиях достоверное к контролю и эталону снижение распространения (на 10,3–11,4 % и 5,9–7,0 %) и развития корневых гнилей (на 4,8–5,8 % и 4,6–5,6 %) отмечено при двукратном применении тест-культур микроор-

ганизмов в ходе предпосевной инокуляции семян и обработки посевов в фазу кушения растений (табл. 1). При этом значимый фунгицидный эффект по отношению к корневым инфекциям про-

являлся независимо от использования монокультуры или микробного консорциума (*Trichoderma* spp. + *F. muscicola*).

Таблица 1

Характер проявления грибных болезней на яровой пшенице под действием микроорганизмов и способов их применения (в среднем за 2022–2024 гг.)

The nature of the manifestation of fungal diseases on spring wheat under the influence of microorganisms and methods of their use (on average for 2022–2024)

Вариант обработки	Корневые гнили						Степень поражения листьев септориозом		
	Поражение			Развитие болезни			%	± к контролю	± к эталону
	%	± к контролю	± к эталону	%	± к контролю	± к эталону			
Контроль – без обработки	23,2	–	–	8,8	–	–	11,0	–	–
<i>Trichoderma</i> spp. – ОС	19,3	-3,9	-3,7	7,8	-1,0	-0,2	11,0	0	+3,3
<i>Trichoderma</i> spp. – ОС+ОП	11,8	-11,4	-7,0	3,0	-5,8	-5,6	10,5	-0,5	+3,5
<i>F. muscicola</i> – ОС	21,5	-1,7	-1,5	7,4	-1,4	-0,6	7,7	-3,3	0
<i>F. muscicola</i> – ОС+ОП	12,8	-10,4	-6,0	3,5	-5,3	-5,1	7,7	-3,3	+0,7
<i>Trichoderma</i> spp.+ <i>F. muscicola</i> – ОС	17,8	-5,4	-5,2	6,7	-2,1	-1,3	8,5	-2,5	+0,8
<i>Trichoderma</i> spp. + <i>F. muscicola</i> – ОС+ОП	12,9	-10,3	-5,9	4,0	-4,8	-4,6	8,0	-3,0	+1,0
Трихоцин – эталон – ОС	23,0	-0,2	–	8,0	-0,8	–	7,7	-3,3	–
Трихоцин – Эталон ОС + ОП	18,8	-4,4	–	8,6	-0,2	–	7,0	-4,0	–
НСР ₀₅	5,3			3,5			0,8		

Ранее мы отмечали, что при инокуляции семян антагонистическая активность монокультуральных видов *Trichoderma* spp. и *F. muscicola* практически не уступала бинарным смесям [20]. Сравнивая изучаемые виды *Trichoderma* spp. и *F. muscicola*, можно констатировать более высокие защитные свойства тест-штамма К-01П *Trichoderma*. Обращает на себя внимание и более высокая, чем у эталонного препарата Трихоцин, действующим веществом которого является *Trichoderma harzianum*, фунгицидность штамма К-01П. Выявленная тенденция повышает перспективность его в качестве целевого биоагента.

На относительно невысоком уровне развития септориоза в годы исследований (в среднем 11,0 %) статистически доказана фунгицидная активность большинства опытных вариантов. Снижение степени поражения по сравнению с

контролем составило в среднем 0,5–3,3 %. При этом антагонизм штамма К-01П монокультуры *Trichoderma* против инфекции *Septoria* spp. существенно уступал эталонному варианту, что выразилось в повышении развития болезни на 3,3–3,5 %. Избирательного характера способа применения микроорганизмов (инокуляция семян и обработка посевов) на проявление септориоза не обнаружено, что косвенным образом свидетельствует об эффективности изучаемых штаммов как против семенной, так и аэрогенной септориозной инфекции. Однако наибольшее снижение развития болезни (в среднем на 4,0 %) отмечено у эталонного варианта – Трихоцин (ОС).

Наиболее высокая урожайность зерна яровой пшеницы Баженка (в среднем 245,7 г/м²) получена при обработке семян и посевов бинарной смесью *Trichoderma* spp. + *F. muscicola* (табл. 2).

Влияние микроорганизмов и способа их применения на урожайность и элементы продуктивности пшеницы (в среднем за 2022–2024 гг.)
The influence of microorganisms and the method of their application on the yield and productivity elements of wheat (average for 2022–2024)

Вариант обработки	Продуктивная кустистость			Масса 1000 зерен			Масса зерна с м ²		
	шт.	± к контролю	± к эталону	г	± к контролю	± к эталону	г/м ²	± к контролю	± к эталону
Контроль – без обработки	1,45	–	+0,15	37,3	–	+1,0	207,6	–	–
<i>Trichoderma</i> spp. – ОС	1,32	-0,13	+0,02	37,1	-0,2	+0,8	164,1	-43,5	-30,4
<i>Trichoderma</i> spp. – ОС+ОП	1,68	+0,23	+0,38	38,6	+1,3	+0,4	193,1	-14,5	-24,3
<i>F. muscicola</i> – ОС	1,23	-0,22	-0,07	38,1	+0,8	+0,2	217,4	+9,8	+22,9
<i>F. muscicola</i> –ОС+ОП	1,52	+0,07	+0,22	39,0	+1,7	+0,8	162,0	-45,6	-55,4
<i>Trichoderma</i> spp.+ <i>F. muscicola</i> - ОС	1,10	-0,35	-0,20	38,3	+1,0	0	135,0	-72,6	-59,5
<i>Trichoderma</i> spp. + <i>F. muscicola</i> – ОС + ОП	1,48	+0,03	+0,18	37,8	+0,5	-0,4	245,7	+38,1	+28,3
Трихоцин – эталон – ОС	1,30	-0,15	–	38,3	+1,0	–	194,5	-13,1	–
Трихоцин – Эталон ОС+ ОП	1,30	-0,15	–	38,2	+0,9		217,4	+9,8	–
НСР ₀₅	0,18			0,6			30,3		

Однократное применение этой ассоциации микроорганизмов при инокуляции семян обусловило достоверное снижение урожайности как к контролю (на 72,6 г/м²), так и к эталону (на 59,5 г/м²), что обусловлено, вероятно, низкой плотностью продуктивного стеблестоя. В этом варианте отмечали наиболее низкую для опыта продуктивную кустистость растений (1,1 шт.). Существенное снижение урожайности (на 45,6 и 55,4 г/м²) отмечено и при обработке семян и посевов монокультурой *F. muscicola*. Невысокий продукционный потенциал также у посевов с инокуляцией семян *Trichoderma* spp.: снижение урожая к контролю и эталону составило 30,4 и 43,5 г/м². Следует отметить также статистически достоверное к контролю увеличение крупности зерна (на 0,8–1,7 г) в большинстве опытных вариантов и повышение продуктивной кустистости растений при двукратном применении монокультур и бинарных смесей. Однако лишь в одном варианте (*Trichoderma* spp. + *F. muscicola* – ОС+ОП) сочетанное действие более низкой пораженности листьев и корневой системы и относительно высоких показателей элементов

продуктивности выразилось в существенном увеличении урожайности сорта Баженка.

ВЫВОДЫ

1. Выявлено избирательное действие новых штаммов микроорганизмов *Trichoderma* spp. и *F. muscicola* и способов их применения на фитосанитарное состояние посевов и урожайность тест-сорта яровой пшеницы Баженка.
2. Эффективный биоконтроль корневых гнилей возможен при их двукратном применении (инокуляция семян и обработка посевов) как монокультурой, так и бинарной смесью.
3. Изучаемые штаммы достаточно эффективны и в защите от септориоза при невысоком уровне развития болезни.
4. Реализация продукционного потенциала сорта Баженка в условиях Кировской области вполне возможна при обработке семян и посевов бинарной смесью *Trichoderma* spp. + *F. muscicola*, где получена наибольшая для опыта урожайность зерна (в среднем 245,7 г/м²).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маленкова Л.В., Шадрина Е.А. Влияние абиотических и биотических факторов на посевные качества яровых зерновых культур в условиях Среднего Урала // АПК России. – 2022. – Т. 29, № 5. – С. 590–594. – DOI: 10.55934/2587-8824-2022-29-5-590-594.
2. Популяционные исследования грибов – возбудителей болезней зерновых культур / М.М. Левитин, О.С. Афанасенко, Т.Ю. Гагкаева [и др.] // Вестник защиты растений. – 2019. – № 4(102). – С. 5–16. – DOI: 10.31993/2308-6459-2019-4-102-5-16.
3. Микробы-антагонисты против фитопатогенных бактерий и грибов (обзор) / Л.И. Домрачева, С.Г. Скугорева, П.А. Стариков [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. – 2022. – № 2. – С. 6–14. – DOI: 10.25750/1995-4301-2022-2-006-014.
4. Антифунгальные и фитостимулирующие свойства ризосферного штамма *Bacillus subtilis* Ч-13 – продуцента биопрепаратов / В.К. Чеботарь, Н.М. Макарова, А.И. Шапошников, Л.В. Кравченко // Прикладная биохимия и микробиология. – 2009. – № 45(4). – С. 465–469.
5. *Trichoderma*: the «secrets» of a multitaled biocontrol agent / M. Sood, D. Kapoor, V. Kumar [et al.] // Plants (Basel). – 2020. – Vol. 9, No. 6. – P. 762. – DOI: 10.3390/plants9.
6. Perveen K., Bokhari N.A. Antagonistic activity of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* isolated from soil of date palm field against *Fusarium oxysporum* // African Journal of Microbiology Research. – 2012. – Vol. 6, No. 13. – P. 3348–3353. – DOI: 10.5897/AJMR12.247.
7. Phosphate solubilization by *Trichoderma koningiopsis* (NBRI-PR5) under abiotic stress conditions / A. Tandon, T. Fatima, D. Anshu [et al.] // J. King Saud Univ. – Sci. – 2020. – Vol. 32, No. 1. – P. 791–798. – DOI: 10.1016/j.jksus.2019.02.001.
8. Basim H., Oztork S.B., Yegen O. Efficacy of a biological fungicide (Planter Box (*Trichoderma harzianum* Rifai T-22)) against seedling root rot pathogens (*Rhizoctonia solani*, *Fusarium* sp.) of cotton // GAP-Environmental Symposium. – Panl Yurfa. – Turkey. – 1999. – P. 137–144.
9. Голованова Т.И., Долинская Е.В., Сичкарук Е.А. Роль грибов рода *Trichoderma* в повышении урожайности пшеницы и ячменя // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2009. – № 6. – С. 53–58.
10. Коробова Л.Н., Лужных Т.А., Атаджанова Р.Г. Влияние препарата на основе гриба *Trichoderma* на яровую пшеницу с прямым посевом // Теория и практика современной аграрной науки: сб. IV нац. (всерос.) науч. конф. с междунар. участием. – Новосибирск, 2021. – С. 127–130.
11. Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М. Фитопатогенная биота в условиях потепления климата (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. – 2022. – № 3. – С. 6–13. – DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-006-013.
12. Цианобактериальные симбиозы и возможность их практического использования (обзор) / Л.И. Домрачева, А.Л. Ковина, Л.В. Кондакова, Т.Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. – 2021. – № 3. – С. 21–30. – DOI: 10.25750/1995-4301-2021-3-021-030.
13. Микробные препараты на основе эндофитных и ризобактерий, которые перспективны для повышения продуктивности и эффективности использования минеральных удобрений у ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) и овощных культур / В.К. Чеботарь, А.Н. Заплаткин, А.В. Щербаков [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51, № 3. – С. 335–342. – DOI: 10.15389/agrobiology.2016.3.335rus.
14. Биотехнологический потенциал почвенных цианобактерий (обзор) / С.В. Дидович, С.В. Москаленко, А.Д. Темралеева, С.А. Хапчаева // Вопросы современной альгологии. – 2017. – № 2 (14). – URL: <http://algology.ru/1170>.
15. Санин С.С. Защита растений и устойчивое земледелие в XXI столетии // Защита и карантин растений. – 2020. – № 4. – С. 9–16.
16. Григорьев М.Ф. Методические указания по изучению устойчивости зерновых культур к корневым гнилям. Л., 1976. – 60 с.
17. Saari E.E., Prescott J.M. A scale for appraising the foliar intensity of wheat disease // Plant Disease Reporter. – 1975. – Vol. 59(5). – P. 377–380.
18. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М., 1985. – Вып. 2. – Ч. 2. – 230 с.
19. Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М., Стариков П.А. Влияние микробной инокуляции семян на биоконтроль корневых гнилей, биометрию растений и урожайность яровой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. – 2024. – № 1(37). – С. 187–197. – DOI: 10.5281/zenodo.10930956.

REFERENCES

1. Malenkova L.V., Shadrina E.A., *APK Rossii*, 2022, T. 29, No. 5, pp. 590–594, DOI: 10.55934/2587-8824-2022-29-5-590-594. (In Russ.)

2. Levitin M.M., Afanasenko O.S., Gagkaeva T.Ju., Gannibal F.B., Gul'tjaeva E.I., Mironenko N.V., *Vestnik zashhity rastenij*, 2019, No. 4(102), pp. 5–16, DOI: 10.31993/2308-6459-2019-4-102-5-16. (In Russ.)
3. Domracheva L.I., Skugoreva S.G., Starikov P.A., Gornostaeva E.A., Ashihmina T.Ja., *Teoreticheskaja i prikladnaja jekologija*, 2022, No. 2. pp. 6–14, DOI: 10.25750/1995-4301-2022-2-006-014. (In Russ.)
4. Chebotar' V.K., Makarova N.M., Shaposhnikov A.I., Kravchenko L.V., *Prikladnaja biohimija i mikrobiologija*, 2009, No. 45(4), pp. 465–469. (In Russ.)
5. Sood M., Kapoor D., Kumar V., Sheteiwy M., Ramakrishnan M., Landi M., Araniti F., Sharma A., Trichoderma: the «secrets» of a multit talented biocontrol agent, *Plants (Basel)*, 2020, Vol. 9, No. 6, pp. 762, DOI: 10.3390/plants9.
6. Perveen K., Bokhari N.A., Antagonistic activity of Trichoderma harzianum and Trichoderma viride isolated from soil of date palm field against *Fusarium oxysporum*, *African Journal of Microbiology Research*, 2012, Vol. 6, No. 13, pp. 3348–3353, DOI: 10.5897/AJMR12.247.
7. Tandon A., Fatima T., Anshu D., Shukla P., Tripathi S., Srivastava P., Singh S., Phosphate solubilization by Trichoderma koningiopsis (NBRI-PR5) under abiotic stress conditions, *J. King Saud Univ, Sci*, 2020, Vol. 32, No. 1, pp. 791–798, DOI: 10.1016/j.jksus.2019.02.001.
8. Basim H., Oztork S.B., Yegen O., Efficacy of a biological fungicide (Planter Box (*Trichoderma harzianum* Rifai T-22)) against seedling root rot pathogens (*Rhizoctonia solani*, *Fusarium* sp.) of cotton, *GAP-Environmental Symposium*, Panl Yurfa, Turkey, 1999, pp. 137–144.
9. Golovanova T.I., Dolinskaja E.V., Sichkaruk E.A., *Vestnik Krasnojarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2009, No. 6, pp. 53–58. (In Russ.)
10. Korobova L.N., Luzhnyh T.A., Atadzhanova R.G., *Teorija i praktika sovremennoj agrarnoj nauki* (Theory and practice of modern agricultural science), Proceedings of the Conference Title, 2021, pp. 127–130. (In Russ.)
11. Sheshegova T.K., Shhekleina L.M., *Teoreticheskaja i prikladnaja jekologija*, 2022, No. 3, pp. 6–13, DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-006-013. (In Russ.)
12. Domracheva L.I., Kovina A.L., Kondakova L.V., Ashihmina T.Ja., *Teoreticheskaja i prikladnaja jekologija*, 2021, No. 3, pp. 21–30, DOI: 10.25750/1995-4301-2021-3-021-030. (In Russ.)
13. Chebotar' V.K., Zaplatkin A.N., Shherbakov A.V. Mal'fanova N.V., Ctarcova A.A., Kostin Ja.V., *Sel'skhozjajstvennaja biologija*, 2016, T. 51, No. 3, pp. 335–342, DOI: 10.15389/agrobiology.2016.3.335rus. (In Russ.)
14. Didovich S.V., Moskalenko S.V., Temraleeva A.D., Hapchaeva S.A., *Voprosy sovremennoj al'gologii*, 2017, No. 2(14), URL: <http://algology.ru/1170>. (In Russ.)
15. Sanin S.S., *Zashhita i karantin rastenij*, 2020, No. 4, pp. 9–16. (In Russ.)
16. Grigor'ev M.F., *Metodicheskie ukazanija po izucheniju ustojchivosti zernovyh kul'tur k kornevym gniljam* (Guidelines for studying the resistance of grain crops to root rot), Leningrad, 1976, 60 p. (In Russ.)
17. Saari E.E., Prescott J.M., A scale for appraising the foliar intensity of wheat disease, *Plant Disease Reporter*, 1975, Vol. 59 (5), pp. 377–380.
18. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytanija sel'skhozjajstvennyh kul'tur* (Methodology of state variety testing of agricultural crops), Moscow, 1985, Vol. 2, Ch. 2, 230 p. (In Russ.)
19. Sheshegova T.K., Shhekleina L.M., Starikov P.A., *Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki*, 2024, No. 1(37), pp. 187–197, DOI: 10.5281/zenodo.10930956. (In Russ.)

Информация об авторах:

Т.К. Шешегова, доктор биологических наук
Л.М. Щеклеина, кандидат сельскохозяйственных наук

Contribution of the author:

T.K. Sheshegova, Doctor of Biological Sciences
L.M. Shhekleina, Candidate of Agricultural Sciences

Вклад авторов:

Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЕТЕРИНАРИЯ, ЗООТЕХНИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.31677/2072-6724-2025-75-2-106-115

УДК 579.66:663.54

БИОКОНВЕРСИЯ ЛАКТОЗЫ В ЭТАНОЛ ДРОЖЖАМИ *KLUYVEROMYCES LACTIS* КАК ЭТАП УТИЛИЗАЦИИ ПОДСЫРНОЙ СЫВОРОТКИ

К.С. Аббас, В.В. Новочадов

Волгоградский государственный университет, Волгоград, Россия

E-mail: novochadov.valeriy@volsu.ru

Для цитирования: Аббас К.С., Новочадов В.В. Биоконверсия лактозы в этанол дрожжами *Kluyveromyces lactis* как этап утилизации подсырной сыворотки // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 106–115. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-106-115.

Ключевые слова: сыроварение, отходы, молочная сыворотка, лактоза, ферментация, биоэтанол, *Kluyveromyces lactis*.

Реферат. Увеличение количества лактозосодержащих отходов на фоне роста производства сыров в России и повсеместно в мире повысили интерес к поиску новых эффективных биотехнологий их переработки, в том числе путем биоконверсии лактозы в этанол. В работе использована подсырная сыворотка с исходным содержанием лактозы 40 г/л и pH 4,84, три промышленных штамма *Kluyveromyces lactis* – Y-2035, Y-2037, Y-2040 и штамм сравнения *Saccharomyces cerevisiae* Y-187. Культивирование дрожжей проводили в ферментере ФА-2 (Проинтех, Россия) в течение 48 ч в сыворотке с добавлением подпитывающих растворов и ионов цинка, при температуре 34 °С, перемешивании и аэрации. В качестве показателей динамики и эффективности биотехнологического процесса периодически определяли pH, число дрожжевых клеток, концентрацию белка, лактозы и этанола в культуральной среде, используя для этого коммерческие наборы для определения этих веществ, рассчитывали скорость роста, процент и среднюю скорость утилизации лактозы, среднюю скорость образования этанола, а также эффективность ферментации. В результате показано, что штаммы *K. lactis* Y-2035, *K. lactis* Y-2037 и *K. lactis* Y-2040 способны утилизировать от 76,3 до 86,0 % лактозы, при этом в среде образуется от 17,7 до 21,0 г/л этанола. Эффективность ферментации варьирует у штаммов *K. lactis* от 75,6 до 89,7 % против 5,6 % у штамма сравнения *S. Cerevisiae* Y-187. Штамм *K. lactis* Y-2037 среди изученных обладает максимальной способностью к утилизации лактозы и образованию этанола. Технологию переработки лактозосодержащих отходов молочной промышленности путем конверсии лактозы в этанол дрожжевыми культурами *K. lactis* предложено использовать для получения перспективного сырья, уменьшения объемов загрязнений, а также для внутреннего производства биоэтанола, рекомендовать использовать для этого штамм *K. lactis* Y-2037.

BIO-CONVERSION OF LACTOSE TO ETHANOL BY *KLUYVEROMYCES LACTIS* YEAST AS A STAGE OF CHEESE WHEY UTILIZATION

K. S. Abbas, V.V. Novochadov

Volgograd State University, Volgograd, Russia

E-mail: novochadov.valeriy@volsu.ru

Keywords: cheese production, waste, whey, lactose, fermentation, bioethanol, *Kluyveromyces lactis*.

Abstract. Growing accumulation of lactose-containing waste resulting from the growth of cheese production in Russia and throughout the world has increased interest in the search for new effective biotechnologies for their processing, including through the bioconversion of lactose into ethanol. The work used cheese whey with an initial lactose content of 40 g/L and a pH of 4.84, three industrial strains of *Kluyveromyces lactis* Y-2035, Y-2037, Y-2040, and the reference strain *Saccharomyces cerevisiae* Y-187. We carried out yeast cultivation in a FA-2 fermenter (Prointech, Russia) for 48 hours in cheese whey with the addition of nutrient solutions and zinc ions, at a temperature of 34 °C, stirring, and aeration. As indicators of the dynamics and efficiency of the biotechnological

process we choose pH, the number of yeast cells, the concentration of protein, lactose and ethanol in the culture medium for periodical control using commercial kits. After that, we calculated the growth rate, percentage and average rate of lactose utilization, average rate of ethanol formation, and fermentation efficiency. As a result, it was shown that the *K. lactis* Y-2035, *K. lactis* Y-2037 and *K. lactis* Y-2040 can utilize from 76.3 to 86.0 % lactose, while from 17.7 to 21.0 g/l of ethanol is formed in the medium. The fermentation efficiency varies in *K. lactis* strains from 75.6 to 89.7 % versus 5.6 % in the reference strain *S. Cerevisiae* Y-187. Among those studied the *K. lactis* Y-2037 strain has the maximum capacity for lactose utilization and ethanol formation. It is proposed to use technology for processing lactose-containing dairy industry waste by converting lactose into ethanol with yeast cultures *K. lactis* for obtaining promising raw materials, reducing pollution, as well as for the internal production of bioethanol, and to recommend the *K. lactis* Y-2037 strain for this purpose.

В последнее десятилетие производство сыра в России увеличилось более чем на 50 %, что эксперты связывают как с очевидным прогрессом в импортозамещении, так и со смещением пищевых потребностей населения [1]. Процесс сыроварения относится к высокоотходным производствам: до 90 % молочного сырья в итоге превращается в побочный продукт, подсырную молочную сыворотку (далее – сыворотку). Объем ее мирового производства оценивается в 200 млн т в год и ежегодно увеличивается на 1–2 %, в то время как перерабатывается в другие пищевые продукты не более 25 % от этого количества, а остальное требует утилизации, и это ложится бременем на производителей [2]. Кроме того, представители малого бизнеса и кустарных производств не в состоянии обеспечить полноценную очистку и/или переработку лактозосодержащей сыворотки. В результате этого, до половины отходов сыроварения оказывается в поверхностных водоемах [3, 4].

Сыворотка имеет кислую реакцию (рН 4,3–5,6), содержит лактозу (до 50 г/л), растворимые белки (до 8 г/л), липиды и минералы, которые, с одной стороны, делают ее питательной средой при биотехнологической утилизации или переработке, а с другой – делают этот продукт опасным загрязнителем, вызывающим чрезмерное потребление кислорода и нарушение экосистем при попадании в водоемы [2, 5].

Совершенно понятно, что для решения проблемы утилизации лактозосодержащих отходов необходимы современные биотехнологические подходы, сочетающие в себе как их возможности, так и технологии переработки в полезные для человека продукты [6, 7]. Для молочной сыворотки одним из таких продуктов может быть биоэтанол [8–10].

Дрожжи *Kluyveromyces* spp. имеют уникальную способность к расщеплению лактозы, что делает их особенно ценными в производстве молочных продуктов и переработке лактозосодержащих отходов молочной промышленности. Данное

свойство *Kluyveromyces* spp. обеспечивается наличием двух генов: *LAC12*, кодирующего фермент лактозопермеазу с функцией активного транспорта лактозы в клетку, и *LAC4*, ответственного за синтез β-галактозидазы, которая катализирует гидролиз лактозы до глюкозы и галактозы [11]. Среди представителей данного рода дрожжи *Kluyveromyces lactis* наиболее активно используются в молочной промышленности для расщепления лактозы, а также как высокоэффективная микробная система для промышленного биосинтеза и экологических биотехнологий [12, 13].

Все вышеперечисленное диктует необходимость разработки и внедрения новых эффективных биотехнологий переработки отходов сыроваренного производства путем конверсии лактозы в этанол, в том числе за счет использования современных высокопродуктивных штаммов. Для отработки технологии ферментации лактозы мы выбрали три штамма *K. lactis*, предполагая, что интенсивность ферментации будет различаться в зависимости от конкретного продуцента.

Цель исследования – сравнение возможности трех штаммов дрожжей *Kluyveromyces lactis* к удалению лактозы из отходов сыроварения (подсырной сыворотки) путем конверсии ее в этанол и характеристика этого биотехнологического процесса в лабораторной модели.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для ферментации лактозы сыворотки использовали три штамма дрожжей *K. lactis*, маркированных в соответствии с каталогом ВКПМ Национального биоресурсного центра России как Y-2035, Y-2037, Y-2040. В качестве отрицательного контроля был взят штамм *Saccharomyces cerevisiae* Y-187 с заведомо минимальной способностью к ферментации лактозы.

Сыворотка была получена из ООО «Еланский сыродельный комбинат». В процессе производства при нагревании в нормализованную

молочную смесь была добавлена молочная кислота для снижения pH. После створаживания к смеси прибавляли хлорид кальция и нагревали до 48–50 °С в течение 1,5 ч для образования сыра. После удаления сырной массы оставшаяся жидкость и представляла собой сыворотку. Ее пропускали через фильтр с диаметром пор 0,2 мкм для удаления микроорганизмов и хранили до использования в работе при температуре 4 °С. В такой сыворотке концентрация лактозы составила 43,5 г/л, белка – 6,4 г/л, этанола – менее 1 г/л.

Для выращивания инокулята в целях обеспечения максимально быстрого роста культуры использовали специально приготовленную питательную среду, которая включала (по объему) 75 % сыворотки, 10 % сахарозы (60 г/л), 10 % взвеси соевой муки (1 %) и 5 % гидролизата дрожжей *S. cerevisiae*. pH среды до стерилизации составил 4,84.

Инокуляцию проводили в стеклянных сосудах емкостью 200 мл, в которые вначале помещали по 150 мл описанной выше питательной среды, закрывали ватно-марлевыми пробками и стерилизовали в автоклаве. После остывания до температуры 30 °С в каждый сосуд с соблюдением условий стерильности прибавляли по 10 мл активированной культуры соответствующего штамма дрожжей, после перемешивания отбирали 10 мл для измерения исходных показателей перед культивированием и помещали в орбитальный шейкер-термостат ES-20 (BioSan, Латвия) на 36 ч при контролируемой температуре 34 °С и скорости движения столика 100 об/мин. Использовали по три повтора на каждый штамм дрожжей. Финальный материал в каждом сосуде был нормализован по оптической плотности с использованием заранее построенной калибровочной кривой до содержания дрожжей 10^8 клеток/мл, pH среды составил 4,35.

Основной биотехнологический процесс осуществляли в лабораторном ферментере ФА-02 (Проинтех, Россия) с рабочей камерой объемом 2,0 л. Аппарат снабжен системой регулируемого термостатирования, перемешивания, аэрации (барботирования), конденсатором испарений, датчиками pH, температуры, а также дозаторами для подачи дополнительных жидкостей из стерильных емкостей с помощью перистальтических насосов. Перед началом работы все съемные узлы ферментера стерилизовали автоклавированием согласно инструкции производителя, сосуд для культивирования стерилизовали вместе с 1,5 л питательной среды (сыворотки), несъемные части аппарата, не подвергающиеся автоклавированию,

и металлическую поверхность корпуса дополнительно обрабатывали 70%-м этанолом.

Загрузку посевного материала в ферментер проводили через канал дозатора непосредственно из инокуляционного сосуда через стерилизуемый разъем на крышке рабочей камеры. В каждой серии экспериментов в питательную среду добавляли 50 мл инокулята. Дополнительно для ускорения роста дрожжей прибавляли раствор сульфата цинка из расчета его конечной концентрации 10 мг/л [14]. Режим культивирования поддерживался в течение 48 ч и предусматривал поддержание следующих условий: атмосферное давление, влажность воздуха не менее 80 %, свободная аэрация и газоотведение, скорость вращения мешалки 100 об/мин, температура 34,0 °С. Дополнительная подкормка и введение сыворотки в процессе культивации не проводились. Фиксацию показаний встроенного датчика pH и отбор проб для лабораторного анализа осуществляли непосредственно перед началом инкубации и спустя 6, 12, 24 и 48 ч. Перед исследованием пробы очищали от микроорганизмов и дисперсных компонентов среды с использованием фильтра с диаметром пор 0,2 мкм.

Параллельно с проведением биоконверсии лактозы различными штаммами дрожжей в ферментере аналогичные серии были заложены в 96-луночные планшеты по 6 повторов в каждой и культивированы в тех же условиях на орбитальном шейкере-термостате для построения кривых роста, значения для которых получали каждые 3 ч, после 12 ч ферментации – каждые 6 ч. Исследование проводили на анализаторе микропланшетов iMARK (Bio-Rad Laboratories Inc., США), исходное значение оптической плотности при длине волны 600 нм (OD_{600}) было стандартизировано до 0,1. Максимальную скорость роста $R_{G_{max}}$ (ч⁻¹) определяли по формуле [15]:

$$R_{G_{max}} = \log \Delta OD_{600} / t, \quad (1)$$

где ΔOD_{600} – максимальная разница оптической плотности среды при 600 нм в фазу экспоненциального роста; t – время между измерениями, ч.

Анализ белка проводили в культуральной среде до начала и в течение 48 ч ферментации с различными штаммами дрожжей, используя микрометод на 96-луночных планшетах. Для определения был взят набор для анализа белка ООО «Эйлитон» (Россия), его адаптировали по объему используемых проб и реагентов, фотометрию проводили на анализаторе микропланшетов. Итоговую концентрацию в г/л рассчитывали,

исходя из калибровочной кривой, построенной при использовании растворов сывороточного альбумина с концентрациями от 0,5 г/л до 10 г/л.

В динамике ферментации в культуральной среде определяли концентрацию лактозы энзиматическим методом на спектрофотометре SmartSpectPlus (Bio-Rad Laboratories Inc., США) с помощью готовых наборов производства R-Biopharm AG (Германия), результат выражали в г/л.

Этанол измеряли во всех необходимых случаях также спектрофотометрическим методом с помощью готовых наборов Steroglass S.r.l. (Италия) в соответствии с инструкциями производителя. Концентрацию этанола представляли в г/л.

Итоговые показатели ферментации рассчитывали, исходя из полученных количественных данных для каждого штамма. К ним относили:

- долю утилизированной лактозы L_R , %;
- среднюю скорость утилизации лактозы за 48 ч R_{L48} , г / (л × ч);
- среднюю скорость образования этанола за 48 ч R_{E48} , г / (л × ч);
- эффективность ферментации \mathcal{E}_ϕ , %.

Последний интегральный показатель рассчитывали по формуле [16]:

$$\mathcal{E}_\phi = 185,9 \times E_{48} / L_0, \quad (2)$$

где 185,9 – коэффициент, учитывающий теоретический максимальный выход при образовании этанола из лактозы (0,538); E_{48} – концентрация

этанола через 48 ч ферментации; L_0 концентрация лактозы в стартовой среде.

Обработку количественных результатов и их графическую визуализацию проводили с использованием программного пакета Statistica 12.0 (StatSoft Inc., США). После исключения по критерию Колмогорова нормального характера распределения в выборках ($n = 6$) их статистическое описание представляли в формате медианы и межквартильного интервала – $Me (Q1 \div Q3)$. Внутригрупповые сравнения проводили по критерию Краскела–Уоллиса, сравнение между группами – по критерию Манна–Уитни. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показатель pH в сыворотке при культивировании различных штаммов дрожжей изменялся неодинаково, общая динамика заключалась в постепенном снижении pH в процессе ферментации. Максимальное снижение pH отмечено для *K. lactis* Y-2037, несколько меньшее снижение – для штаммов Y-2035 и Y-2040. При культивировании *S. cerevisiae* pH практически не изменялся, принимая минимальные значения к 12 ч опыта и вновь возвращаясь к исходным величинам к 48 ч ферментации (табл. 1).

Таблица 1

Изменение pH при культивировании трех штаммов *Kluyveromyces lactis* в сравнении со штаммом *Saccharomyces cerevisiae* Y-187 в среде на основе подсырной сыворотки
pH changes during cultivation of three strains of *Kluyveromyces lactis* in comparison with strain *Saccharomyces cerevisiae* Y-187 in a whey-based medium

Время ферментации, ч	Штамм			
	<i>K. lactis</i> Y-2035	<i>K. lactis</i> Y-2037	<i>K. lactis</i> Y-2040	<i>S. cerevisiae</i> Y-187
0	4,33	4,33	4,35	4,37
6	4,36	4,25	4,30	4,29
12	4,30	4,27	4,26	4,24
24	4,15	4,05	4,28	4,20
48	4,00	3,86	4,10	4,41
ΔpH_{max}	-0,33*	-0,47*	-0,25	-0,17

Примечание. * статистически значимые различия со значениями при культивировании *S. cerevisiae*.

Достаточно умеренные изменения pH в сторону закисления вполне объяснимы высокой буферной емкостью сыворотки, которая определяется не только ее электролитным составом, но наличием

белка и активными биохимическими процессами, протекающими в дрожжевых клетках.

Динамика количества клеток при культивировании отражала фазовый характер их роста: лаг

фаза продолжалась от 6–9 ч у представителей рода *Kluyveromyces* и до 12 ч у *S. cerevisiae* Y-187; фаза экспоненциального роста – до 24-го и 30-го часов ферментации соответственно. Общий прирост клеточной массы за 48 ч ферментации составил от $2,5 \times 10^8$ клеток/л у *S. cerevisiae* Y-187 до $5,7 \times 10^8$ клеток/л *K. lactis* Y-2040. Наименьшая

скорость роста зафиксирована у *S. cerevisiae* Y187, скорость роста штаммов *K. lactis* Y-2035 и *K. lactis* Y-2037 была в 1,31 и 1,39 раза больше этой величины, а *K. lactis* Y-2040 продемонстрировал наибольшую скорость роста – в 1,54 раза больше, чем *S. cerevisiae* Y-187 (рис. 1).

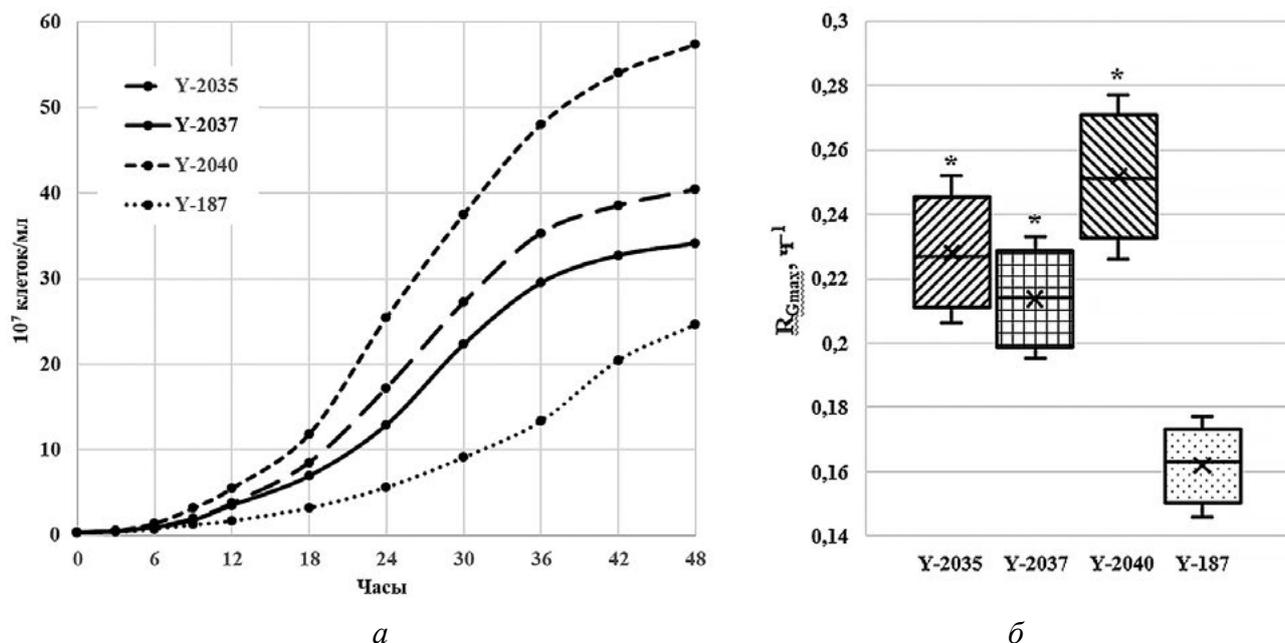


Рис. 1. Рост дрожжей на 96-луночных микропланшетах трех штаммов *Kluyveromyces lactis* в сравнении со штаммом *Saccharomyces cerevisiae* Y-187 в среде на основе подсырной сыворотки:

а – кривые роста штаммов дрожжей; б – максимальная скорость роста штаммов

Yeast growth on 96-well microplates of three strains of *Kluyveromyces lactis* compared with the strain *Saccharomyces cerevisiae* Y-187 in a whey-based medium: а – growth curves of yeast strains; б – maximum growth rate of the strains

В процессе ферментации концентрация белка в сыворотке снижалась при использовании всех четырех штаммов дрожжей, величина снижения зависела от используемого штамма. При культивировании *S. cerevisiae* Y-187 концентрация белка за 48 ч уменьшалась в 1,71 раза ($p < 0,05$). Среди *K. lactis* наибольшей активностью обладал штамм Y-2037 (уменьшение концентрации в 2,28 раза), несколько меньше – штаммы Y-2035 (снижение в 2,17 раза) и Y-2040 (в 1,89 раза).

Эксперименты показали, что все использованные штаммы дрожжей были в состоянии в той или иной мере конвертировать лактозу в этанол, ее концентрация заметно уменьшалась начиная с 12-го часа ферментации. За 48 ч работы фер-

ментера *S. cerevisiae* Y-187 утилизировал 8,9 % лактозы сыворотки, в то время как для исследуемых штаммов *K. lactis* в подобранных условиях культивирования эта величина составила 76,3 % для Y-240, 78,6 % – для Y-235 и 86,0 % – для наиболее активного штамма Y-237 (табл. 2).

Ферментативная утилизация лактозы молочной сыворотки сопровождалась образованием этанола. Штамм сравнения, *S. cerevisiae* Y-187 обладал минимальной способностью к конверсии: к 48 ч концентрация этанола в среде составила менее 2 г/л. Содержание этанола в сыворотке при культивировании штаммов *K. lactis* было значительно выше и для штамма Y-2037 эта величина превышала 20 г/л.

Изменение белка, лактозы и этанола при культивировании трех штаммов *Kluyveromyces lactis* в сравнении со штаммом *Saccharomyces cerevisiae* Y-187 на среде на основе подсырной сыворотки
Changes in protein, lactose, and ethanol content during cultivation of three *Kluyveromyces lactis* strains compared with strain *Saccharomyces cerevisiae* Y-187 in a whey-based medium

Время ферментации, ч	Штамм			
	<i>K. lactis</i> Y-2035	<i>K. lactis</i> Y-2037	<i>K. lactis</i> Y-2040	<i>S. cerevisiae</i> Y-187
<i>Белок, г/л</i>				
0	6,41 [6,15÷6,70]			
6	5,58 [5,27÷5,87]*	5,24 [4,99÷5,52]*	5,61 [5,37÷5,91]*	5,95 [5,64÷6,20]
12	4,48 [4,25÷4,71]*#	4,22 [3,99÷4,45]*#	4,63 [4,40÷4,88]*#	5,61 [5,36÷5,85]*
24	3,75 [3,56÷3,95]*#	3,57 [3,40÷3,76]*#	3,89 [3,71÷4,08]*#	4,66 [4,43÷4,87]*
48	2,96 [2,81÷3,12]*#	2,81 [2,65÷2,96]*#	3,12 [2,95÷3,27]*#	3,76 [3,60÷3,91]*
<i>Лактоза, г/л</i>				
0	43,5 [41,7÷45,3]			
6	40,1 [37,9÷42,4]	39,1 [37,0÷41,2]*	40,8 [38,3÷42,9]	43,1 [40,8÷45,3]
12	29,4 [27,7÷30,8]*#	25,5 [24,2÷26,3]*#	29,6 [28,2÷31,0]*#	42,7 [40,8÷44,6]
24	13,0 [11,7÷14,4]*#	11,2 [10,0÷12,5]*#	16,1 [14,4÷17,8]*#	40,8 [38,9÷42,7]
48	9,3 [8,4÷10,4]*#	6,1 [5,7÷6,9]*#	10,3 [9,2÷11,3]*#	39,6 [37,7÷41,8]
<i>Этанол, г/л</i>				
0	0,6 [0,4÷0,8]			
6	1,9 [1,7÷2,2]*	2,5 [2,3÷2,8]*	1,8 [1,6÷2,2]*	0,8 [0,6÷1,1]
12	4,7 [4,3÷5,2]*#	6,5 [6,0÷7,2]*#	5,0 [4,5÷6,1]*#	1,1 [0,9÷1,3]
24	14,3 [12,9÷15,8]*#	15,7 [14,1÷17,4]*#	12,9 [11,6÷14,4]*#	1,4 [1,2÷1,7]
48	19,6 [17,6÷21,8]*#	21,0 [18,8÷23,3]*#	17,7 [15,8÷19,5]*#	1,9 [1,7÷2,2]

Примечание. Здесь и в последующих таблицах знаком * отмечены – статистически значимые различия со стартовыми значениями до ферментации; знаком # – со значениями при культивировании *S. cerevisiae*.

Чтобы оценить эффективность ферментации, рассчитали скорости утилизации основного субстрата и образования конечного продукта (рис. 2).

Расчет скоростей утилизации лактозы и образования этанола показал, что они были минимальными для *S. cerevisiae* Y-187, а для штаммов *K. lactis* определялись возле 0,7 и 0,4 г/(л×ч) соответственно. Эффективность ферментации этими штаммами в десять с лишним раз превышала эффективность дрожжей *S. cerevisiae* (5,6 %), составляя для штамма *K. lactis* Y-2040 75,6 %, для *K. lactis* Y-2040 83,8 %, а для наиболее активного штамма *K. lactis* Y-2037 – 89,7 %.

В настоящем исследовании для проверки эффективности в отношении биоконверсии лактозы и подбора условий для осуществления этого биотехнологического процесса были использованы штаммы дрожжей из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов. В биотехнологии среди дрожжей лидерами, безусловно, являются различные, в том числе и рекомбинантные штаммы *Saccharomyces* spp. [8, 17], но в молочной промышленности с недавнего времени им практически не уступают представители рода *Kluyveromyces* [18, 19].

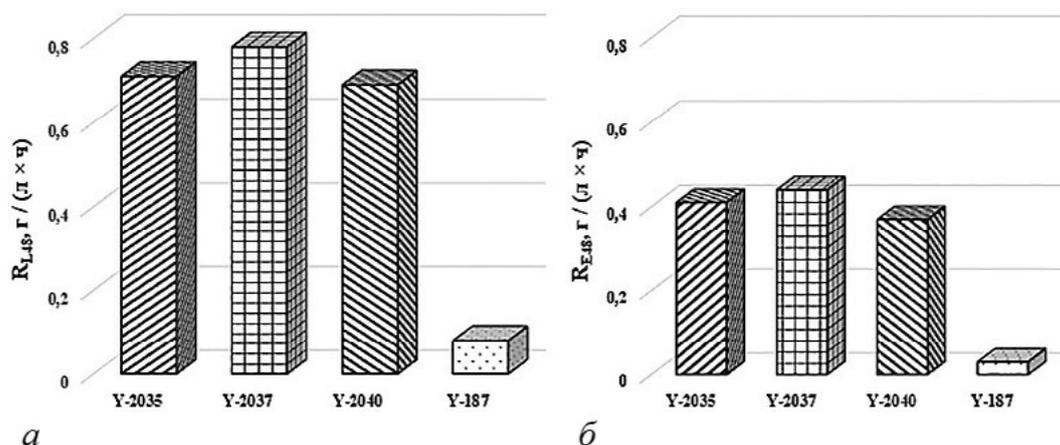


Рис. 2. Скорость утилизации лактозы (R_{L48}) – а и образования этанола (R_{E48}) – б в подсырной сыворотке при ферментации в течение 48 ч тремя штаммами *Kluyveromyces lactis* в сравнении со штаммом *Saccharomyces cerevisiae* Y187

The rate of lactose utilization (A, R_{L48}) and ethanol synthesis (B, R_{E48}) in subsurface whey during fermentation for 48 hours with three of *Kluyveromyces lactis* compared with strain *Saccharomyces cerevisiae* Y187

В целом результаты, полученные при тестировании выбранных штаммов *K. lactis*, показали их высокую способность к утилизации лактозы и конверсии части этого продукта в этанол. По значениям ключевых показателей биотехнологического процесса эти данные оказались сходными с результатами ранее проведенных исследований с другими штаммами дрожжей [20, 21].

Процесс ферментации подвержен воздействию множества факторов, которые могут существенно влиять на конверсию углеводов в биоэтанол конкретным штаммом дрожжей. Важнейшими из этих факторов являются условия культивирования, прежде всего состав молочной сыворотки, присутствие в ней экотоксикантов, стимуляторов роста, температура, pH и аэрация. Оптимизация этих параметров может значительно повысить выход этанола [3, 19, 22, 23].

Для *Kluyveromyces* температура оптимальна в пределах 32–35 °С, что несколько выше температурного оптимума для *Saccharomyces* – 25–30 °С. Последнее могло стать одним из факторов, замедливших рост этой дрожжевой культуры, поскольку мы выбрали для культивирования температуру 34 °С.

Все штаммы дрожжей, использованных в исследовании, незначительно снижали pH сыворотки в течение 48 ч ферментации в пределах от 0,17 (*S. cerevisiae* Y-187) до 0,47 (*K. lactis* Y-2037), и это снижение было тем больше, чем выше ферментирующая способность штамма в отношении лактозы. Даже такие небольшие снижения pH могли подавлять рост дрожжей

и негативно отразиться на скорости конверсии лактозы на поздних сроках ферментации.

Сам факт присутствия белков в сыворотке важен для жизнедеятельности и ферментативной активности дрожжей. Выбранные штаммы за время культивирования в течение 48 ч потребляли от 41,3 % белка (*S. cerevisiae* Y-187) до 56,1 % (*K. lactis* Y-2037) также в прямой зависимости от количества утилизированной лактозы. Этот процесс может приобретать особое значение, если задачей переработки сыворотки является не только удаление лактозы, но и придание сыворотке свойств потенциального сырья для изготовления функциональных напитков с высоким содержанием аминокислот и биоактивных пептидов [24].

Концентрация лактозы в среде также является важным фактором для ее конверсии. Используемая концентрация чуть более 40 г/л оказалась вполне достаточной для утилизации от 76,3 % лактозы (*K. lactis* Y-2037) до 86,0 % (*K. lactis* Y-2040), хотя для повышения эффективности биоконверсии и выхода этанола в настоящее время используются концентрации до 100 г/л [8, 21]. Поскольку настоящее исследование было предпринято в рамках экологической биотехнологии очистки сыворотки от лактозы, из экономических соображений было решено попробовать отказаться от затратных процедур выделения белка и концентрации сыворотки, оставив нативное содержание в ней лактозы.

Оценка эффективности ферментации, как и следовало ожидать, показала, что не вся лактоза в процессе переработки превращается в этанол. Как известно, почти половина лактозы окисляется

в энергетических целях, максимальный теоретический выход этанола по массе в этом процессе составляет 0,538 [16]. Поскольку задачей технологии в исследованных условиях являлось именно окисление лактозы, вопрос о количестве образующегося в этом случае этанола являлся в определенной мере второстепенным.

В перспективе для улучшения конвертирующей способности штаммов дрожжей по отношению к лактозе могут использоваться методы классической и молекулярной селекции, геной инженерии в виде трансгенеза или геномного редактирования. Основные задачи, которые при этом придется решать, состоят в повышении защиты от контаминации, повышении активности ключевых ферментов доставки лактозы в клетки и биоконверсии, повышении устойчивости к ингибирующим веществам, в том числе к основному конечному продукту – этанолу.

В целом данное исследование подчеркивает важность изучения дрожжей *Kluyveromyces* в контексте их применения для утилизации лактозосодержащих отходов молочной промышленности и в определенной мере производства биоэтанола. Экологичность, энергетическая безопасность и экономические факторы в перспективе будут поддерживать заинтересованность производителей молочных продуктов в данной биотехнологии.

ВЫВОДЫ

1. В эксперименте с использованием лабораторного ферментера и лактозосодержащей подсырной сыворотки с добавлением подпитывающих растворов и ионов цинка показано, что штаммы дрожжей *K. lactis* ВКПМ Y-2035, *K. lactis* ВКПМ Y-2037 и *K. lactis* ВКПМ Y-2040 способны в течение 48 ч при контролируемой температуре 34 °С, перемешивании и аэрации утилизировать от 76,3 до 86,0 % лактозы, значительно превосходя по активности штамм сравнения *S. cerevisiae* Y-187.

2. При ферментации до половины лактозы сыворотки конвертируется в этанол. В среде в течение 48 ч ферментации дрожжами *Kluyveromyces* образуется от 17,7 до 21,0 г/л этанола. Эффективность ферментации варьирует у штаммов *K. lactis* от 75,6 до 89,7 % против 5,6 % у штамма сравнения *S. Cerevisiae* Y-187. Штамм *K. lactis* Y-2037 среди изученных обладает максимальной способностью к утилизации лактозы и образованию этанола.

3. Переработка лактозосодержащих отходов молочной промышленности на основе биоконверсии лактозы в этанол дрожжевыми культурами *Kluyveromyces lactis* является для производителей малого и среднего бизнеса эффективной, простой и дешевой стратегией для получения ценного сырья и/или уменьшения объемов загрязнений, а также для внутреннего производства биоэтанола. В качестве наиболее перспективного среди изученных для этих целей рекомендуется штамм *K. lactis* Y-2037.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Просеков А.Ю. Тенденции развития сыродельной отрасли в России // Сыроделие и маслоделие. – 2024. – № 4. – С. 3–6.
2. Recent advances in whey processing and valorisation: technological and environmental perspectives / D. Buchanan, W. Martindale, E. Romeih, E. Hebshy // International Journal of Dairy Technology. – 2023. – Vol. 76. – P. 291–312. – DOI: 10.1111/1471-0307.12935.
3. Bioethanol production from renewable raw materials and its separation and purification: a review / A. Bušić, N. Mardetko, S. Kundas [et al.] // Food Technology and Biotechnology. – 2018. – Vol. 56, № 10. – P. 289–311. – DOI: 10.17113/ftb.56.03.18.5546.
4. Ethanol production from cheese whey and expired milk by the brown rot fungus *Neolentinus lepideus* / K. Okamoto, S. Nakagawa, R. Kanawaku, S. Kawamura // Fermentation. – 2019. – Vol. 5, № 49. – P. e290. – DOI: 10.3390/fermentation5020049.
5. Bioprospecting of microbial strains for biofuel production: metabolic engineering, applications, and challenges / M.F. Adegboye, O.B. Ojuederie, P.M. Talia, O.O. Babalola // Biotechnology for Biofuels. – 2021. – Vol. 14, № 1. – P. e5. – DOI: 10.1186/s13068-020-01853-2.
6. Papademas P., Kotsaki P. Technological utilization of whey towards sustainable exploitation // Advances in Dairy Research. – 2019. – Vol. 7, Iss. 4. – P. e231. – DOI: 10.35248/2329-888X.19.7.231.
7. Promising renewable raw for ethanol biosynthesis / Y.A. Zimina, M.V. Postnova, K.S. Abbas [et al.] // European Journal of Molecular Biotechnology. – 2020. – Vol. 8, № 1. – P. 42–51. – DOI: 10.13187/ejmb.2020.1.42.
8. Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress / H. Zayed, J. Sahu, S. Akter [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 71. – P. e76. – DOI: 10.1016/j.rser.2016.12.076.

9. *Selection and subsequent physiological characterization of industrial Saccharomyces cerevisiae strains during continuous growth at sub- and supra optimal temperatures* / K.Y.F. Lip, E. García-Ríos, C.E. Costa [et al.] // *Biotechnology Reports*. – 2020. – Vol. 26. – P. e00462. – DOI: 10.1016/j.btre.2020.e00462.
10. *Zandona E., Blažič M., Režek Jambrak A.* Whey utilization: sustainable uses and environmental approach // *Food Technology and Biotechnology*. – 2021. – Vol. 59, № 2. – P. 147–161. – DOI: 10.17113/ftb.59.02.21.6968.
11. *Origin of lactose fermentation in Kluyveromyces lactis by interspecies transfer of a neo-functionalized gene cluster during domestication* / J.A. Varela, M. Puricelli, R.A. Ortiz-Merino [et al.] // *Current Biology*. – 2019. – Vol. 29. – P. 4284–4290. – DOI: 10.1016/j.cub.2019.10.044.
12. *Молекулярный полиморфизм генов β-галактозидазы LAC4 у молочных и природных штаммов дрожжей Kluyveromyces* / Л.В. Лютова, Г.И. Наумов, А.В. Шнырева, Е.С. Наумова // *Молекулярная биология*. – 2021. – Т. 55, № 1. – С. 75–85. – DOI: 10.31857/S0026898421010109.
13. *Vu H.H., Jin C., Chang J.H.* Structural basis for substrate recognition of glucose-6-phosphate dehydrogenase from *Kluyveromyces lactis* // *Biochemical and Biophysical Research Communications*. – 2021. – Iss. 553. – P. 85–91. – DOI: 10.1016/j.bbrc.2021.02.088.
14. *Аббас К.С., Лушикова Е.С., Новочадов В.В.* Оценка лактозоконвертирующей способности дрожжей *Kluyveromyces lactis* в зависимости от концентрации цинка в среде культивирования // *Природные системы и ресурсы*. – 2024. – №1. – С. 18–25. – DOI: 10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.2.
15. *Feng C.T., Du X., Wee J.* Microbial and chemical analysis of non-*Saccharomyces* yeasts from Chambourcin hybrid grapes for potential use in winemaking // *Fermentation*. – 2021. – Vol. 7. – P. 1–22. – DOI: 10.3390/fermentation7010015.
16. *Koushki M., Jafari M., Azizi M.* Comparison of ethanol production from cheese whey permeate by two yeast strains // *Journal of Food Science and Technology*. – 2012. – Vol. 49. – P. 614–619. – DOI: 10.1007/s13197-011-0309-0.
17. *Оценка эффективности процесса биосинтеза этанола дрожжами рода Saccharomyces* / И.В. Калинина, Р.И. Фаткулина, Н.В. Попова, А.Р. Шарипова // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Пищевые и биотехнологии*. – 2018. – Т. 6, № 4. – С. 74–82. – DOI: 10.14529/food180410.
18. *Bioprospecting Kluyveromyces marxianus as a robust host for industrial biotechnology* / M. Bilal, L. Ji, Y. Xu [et al.] // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. – 2022. – Vol. 10. – P. e851768. – DOI: 10.3389/fbioe.2022.851768.
19. *Evaluation of Kluyveromyces spp. for conversion of lactose in different types of whey from dairy processing waste into ethanol* / A.M. Ohstrom, A.E. Buck, X. Du, J. Wee // *Frontiers in Microbiology*. – 2023. – Vol. 14. – P. e1208284. – DOI: 10.3389/fmicb.2023.1208284.
20. *Bio-utilization of cheese manufacturing wastes (cheese whey powder) for bioethanol and specific product (galactonic acid) production via a two-step bioprocess* / X. Zhou, X. Hua, L. Huang, Y. Xu // *Bioresource Technology*. – 2019. – Vol. 272. – P. 70–76. – DOI: 10.1016/j.biortech.2018.10.001.
21. *Marcus J.F., DeMarsh T.A., Alcaine S.D.* Upcycling of whey permeate through yeast-and Mold-driven fermentations under anoxic and oxic conditions. *Fermentation*. – 2021. – Vol. 7. – P. 1–16. – DOI: 10.3390/fermentation7010016.
22. *Жарыкбасова К.С.* Фазовое распределение экотоксикантов в молочном сырье // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2009. – № 3(11). – С. 24–26.
23. *Tesfaw A.* The current trends of bioethanol production from cheese whey using yeasts: biological and economical perspectives // *Frontiers in Energy Research*. – 2023. – Vol. 11. – P. e11. – DOI: 10.3389/fenrg.2023.1183035/full.
24. *Invited review: acid whey trends and health benefits* / D. Rocha-Mendoza, E. Kosmerl, A. Krentz [et al.] // *Journal of Dairy Science*. – 2021. – Vol. 104. – P. 1262–1275. – DOI: 10.3168/jds.2020-19038.

REFERENCES

1. Prosekov A.Yu., *Syrodellie i maslodellie*, 2024, No. 4, pp. 3–6. (In Russ.)
2. Buchanan D., Martindale W., Romeih E., Hebishy E., Recent advances in whey processing and valorisation: technological and environmental perspectives, *International Journal of Dairy Technology*, 2023, Vol. 76, pp. 291–312, DOI: 10.1111/1471-0307.12935.
3. Bušić A., Mardetko N., Kundas S., Morzak G., Belskaya H., Ivancic S., Mirela K.D., Novak S., Šantek B., Bioethanol production from renewable raw materials and its separation and purification: a review, *Food Technology and Biotechnology*, 2018, Vol. 56, No. 3, pp. 289–311, DOI: 10.17113/ftb.56.03.18.5546.
4. Okamoto K., Nakagawa S., Kanawaku R., Kawamura S., Ethanol production from cheese whey and expired milk by the brown rot fungus *Neolentinus lepideus*, *Fermentation*, 2019, Vol. 5, No. 2, pp. e49, DOI: 10.3390/fermentation5020049.
5. Adegboye M.F., Ojuederie O.B., Talia P.M., Babalola O.O., Bioprospecting of microbial strains for biofuel production: metabolic engineering, applications, and challenges, *Biotechnology for Biofuels*, 2021, Vol. 14, No. 1, pp. e5, DOI: 10.1186/s13068-020-01853-2.
6. Papademas P., Kotsaki P., Technological utilization of whey towards sustainable exploitation, *Advances in Dairy Research*, 2019, Vol. 7, Iss. 4, pp. 1–10. DOI: 10.35248/2329-888X.19.7.231.

7. Zimina Y.A., Postnova M.V., Abbas K.S., Ivanova G.S., Novochadov V.V., Promising renewable raw for ethanol biosynthesis, *European Journal of Molecular Biotechnology*, 2020, Vol. 8, No. 1, pp. 42–51, DOI: 10.13187/ejmb.2020.1.42.
8. Zabed H., Sahu J., Akter S., Nasrulhaq Amru B., Faruq G., Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, Vol. 71, pp. 475–501, DOI: 10.1016/j.rser.2016.12.076.
9. Lip K.Y.F., García-Ríos E., Costa C.E., Guillamón J.M., Domingues L., Teixeira J., van Gulik W.M., Selection and subsequent physiological characterization of industrial *Saccharomyces cerevisiae* strains during continuous growth at sub- and supra optimal temperatures, *Biotechnology Reports*, 2020, Vol. 26, pp. e00462, DOI: 10.1016/j.btre.2020.e00462.
10. Zandona E., Blažić M., Režek Jambrak A., Whey utilization: sustainable uses and environmental approach, *Food Technology and Biotechnology*, 2021, Vol. 59, No. 2, pp. 147–161, DOI: 10.17113/ftb.59.02.21.6968.
11. Varela J.A., Puricelli M., Ortiz-Merino R.A., Giacomobono R., Braun-Galleani S., Wolfe K.H., Morrissey J.P., Origin of lactose fermentation in *Kluyveromyces lactis* by interspecies transfer of a neo-functionalized gene cluster during domestication, *Current Biology*, 2019, Vol. 29, pp. 4284–4290, DOI: 10.1016/j.cub.2019.10.044.
12. Lyutova L.V., Naumov G.I., Shnyreva A.V., Naumova E.S., *Molekularnaya Biologiya*, 2021, Vol. 55, No. 1, pp. 75–85, DOI: 10.31857/S0026898421010109. (In Russ.)
13. Vu H.H., Jin C., Chang J.H., Structural basis for substrate recognition of glucose-6-phosphate dehydrogenase from *Kluyveromyces lactis*, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2021, Iss. 553, pp. 85–91, DOI: 10.1016/j.bbrc.2021.02.088.
14. Abbas K.S., Lushnikova E.S., Novochadov V.V., *Prirodnye sistemy i resursy*, 2024, No. 1, pp. 18–25, DOI: 10.15688/nsr.jvolsu.2024.1.2. (In Russ.)
15. Feng C.T., Du X., Wee J., Microbial and chemical analysis of non-*Saccharomyces* yeasts from Chambourcin hybrid grapes for potential use in winemaking, *Fermentation*, 2021, Vol. 7, No. 1, pp. e15, DOI: 10.3390/fermentation7010015.
16. Koushki M., Jafari M., Azizi M., Comparison of ethanol production from cheese whey permeate by two yeast strains, *Journal of Food Science and Technology*, 2012, Vol. 49, pp. 614–619, DOI: 10.1007/s13197-011-0309-0.
17. Kalinina I.V., Fatkullin R.I., Popova N.V., Sharipova A.R., *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo Gosudarstvennogo Universiteta, Seriya 'Pishchevye i Biotekhnologii'*, 2018, Vol. 6, No. 4, pp. 74–82, DOI: 10.14529/food180410. (In Russ.)
18. Bilal M., Ji L., Xu Y., Xu S., Lin Y., Iqbal H.M.N., Cheng H., Bioprospecting *Kluyveromyces marxianus* as a robust host for industrial biotechnology, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2022, Vol. 10, pp. e851768, DOI: 10.3389/fbioe.2022.851768.
19. Ohstrom A.M., Buck A.E., Du X., Wee J., Evaluation of *Kluyveromyces* spp. for conversion of lactose in different types of whey from dairy processing waste into ethanol, *Frontiers in Microbiology*, 2023, Vol. 14, pp. e1208284, DOI: 10.3389/fmicb.2023.1208284.
20. Zhou X., Hua X., Huang L., Xu Y., Bio-utilization of cheese manufacturing wastes (cheese whey powder) for bio-ethanol and specific product (galactonic acid) production via a two-step bioprocess, *Bioresource Technology*, 2019, Vol. 272, pp. 70–76, DOI: 10.1016/j.biortech.2018.10.001.
21. Marcus J.F., DeMarsh T.A., Alcaine S.D., Upcycling of whey permeate through yeast- and Mold-driven fermentations under anoxic and Oxic conditions, *Fermentation*, 2021, Vol. 7, No. 1, pp. e16, DOI: 10.3390/fermentation7010016.
22. Zharykbasova K.S., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2009, No. 3(11), pp. 24–26. (In Russ.)
23. Tesfaw A., The current trends of bioethanol production from cheese whey using yeasts: biological and economical perspectives, *Frontiers in Energy Research*, 2023, Vol. 11, pp. e11, DOI: 10.3389/fenrg.2023.1183035/full.
24. Rocha-Mendoza D., Kosmerl E., Krentz A., Zhang L., Badiger S., Miyagusuku-Cruzado G., Mayta-Apaza A., Giusti M., Jiménez-Flores R., García-Cano I., Invited review: acid whey trends and health benefits. *Journal of Dairy Science*, 2021, Vol. 104, pp. 1262–1275, DOI: 10.3168/jds.2020-19038.

Информация об авторах:

К.С. Аббас, аспирант ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет», кафедра биологии и биоинженерии

В.В. Новочадов, доктор медицинских наук, профессор ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет», кафедра биологии и биоинженерии

Contribution of the authors:

K.S. Abbas, postgraduate student (Volgograd State University)

V.V. Novochadov, Doctor of Medical Sciences, Professor (Volgograd State University)

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРОБИОТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА В КОРМЛЕНИИ ТЕЛЯТ МОЛОЧНОГО ПЕРИОДА ВЫРАЩИВАНИЯ

Ю.Г. Афанасьева, Е.В. Колодина, Е.Р. Корбмахер, Е.В. Шуваев, И.Н. Гришаева

Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий, отдел «Сибирский научно-исследовательский институт сыроделия», Барнаул, Россия

E-mail: prebiotechnology@yandex.ru

Для цитирования: Применение экспериментального пробиотического препарата в кормлении телят молочного периода выращивания / Ю.Г. Афанасьева, Е.В. Колодина, Е.Р. Корбмахер, Е.В. Шуваев, И.Н. Гришаева // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 116–124. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-116-124.

Ключевые слова: пробиотический препарат, молочнокислые палочки, пропионовокислые бактерии, кормление, телята.

Реферат. Показано применение экспериментального пробиотического препарата в кормлении телят молочного периода выращивания. Исследование проводили на базе филиала ФГБНУ ФАНЦА «ПЗ Комсомольское» на молодняке черно-пестрой породы с момента рождения и до 9-месячного возраста. По принципу групп аналогов были сформированы две группы телят по 10 голов в каждой. Телята контрольной группы получали основной рацион, телята опытной группы – дополнительно жидкий экспериментальный пробиотический препарат на основе *Lactobacillus plantarum* и *Propionibacterium freudenreichii* spp. из Сибирской коллекции микроорганизмов отдела СибНИИС ФГБНУ ФАНЦА в дозах: 40 мл/гол. – 11–20 день, 50 мл/гол. – 21–30 день, 70 мл/гол. – 31–40 день. При скармливании животным опытной группы экспериментального пробиотического препарата за первые три месяца не было отмечено достоверно различия по живой массе. В 6 мес. отмечается увеличение живой массы на 1,2 % в сопоставлении с животными группы контроля, в 9-месячном – на 3,0 %, разница достоверна ($p < 0,05$). Максимальное значение относительного прироста живой массы наблюдалось в 6-месячном возрасте телят, разница с контролем составила 5,8 %. За 9 мес. выращивания телят контрольной группы абсолютный прирост живой массы опытной группы превысил группу контроля на 6,8 кг, среднесуточный прирост увеличился на 8 % в пользу опытной группы. Пробиотический препарат не оказывал отрицательного воздействия на отдельные показатели белкового и углеводно-жирового обмена. Альбумины в сыворотке крови телят имели высокие значения и преобладали у животных, получавших пробиотический препарат на 2,3 % ($p < 0,01$). В рамках референсных значений остались α -глобулины и β -глобулины, разница с контролем достоверна и составляет 3,2 % ($p < 0,01$) и 4,2 % ($p < 0,05$) соответственно. Количество γ -глобулинов в подопытных группах превышает референсные значения на 6,7–22,2 %. Уровень холестерина в крови телят подопытных групп находился в пределах референсных значениях с некоторым снижением в опытной на 5,3 % ($p < 0,001$). Уровень общего белка у телят имеет заниженные значения в контрольной и опытной группах на 1,1 и 4,9 % по сравнению с референсными значениями.

APPLICATION OF AN EXPERIMENTAL PROBIOTIC PREPARATION IN FEEDING OF CALVES OF THE DAIRY PERIOD OF REARING

Yu.G. Afanaseva, E.V. Kolodina, E.R. Korbmakher, E.V. Shuvaev, I.N. Grishaeva

Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnology, Department of the Siberian Research Institute of Cheese Making, Barnaul, Russia

E-mail: prebiotechnology@yandex.ru

Keywords: probiotic preparation, lactic acid bacteria, propionic acid bacteria, feeding, calves.

Abstract. Application of experimental probiotic preparation in feeding of calves of dairy period of rearing is shown. The study was carried out on the basis of the branch of FSBRIF FASCA “BF Komsomolskoye” on young black-and-white breed calves from birth to 9 months of age. Two groups of calves of 10 heads each were formed according to the principle of analogue groups. Calves of the control group received the basic diet, calves of the experimental group - additionally liquid experimental probiotic preparation based on *Lactobacillus plantarum* and *Propionibacterium freudenreichii* spp. from Siberian collection of microorganisms of Siberian Research

Institute of Cheese Making department of FSBSI Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnologies, in doses: 40 ml/head from day 11–20, 50 ml/head from day 21–30, 70 ml/head from day 31–40. When feeding animals of the experimental group experimental probiotic preparation, for the first three months, there was no significant difference in live weight. At 6 months of age there was an increase in live weight by 1.2 % in comparison with the animals of the control group, at 9 months of age - by 3.0 %, the difference is reliable ($p < 0.05$). The maximum value of relative live weight gain was observed at six months of age of calves, the difference with the control was 5.8 %. For 9 months of growing calves of the control group absolute live weight gain of the experimental group exceeded the control group by 6.8 kg, average daily gain increased by 8 % in favour of the experimental group. Probiotic preparation had no negative effect on some indicators of protein and carbohydrate-fat metabolism. Albumin in blood serum of calves had high values, with predominance in animals receiving probiotic preparation by 2.3 % ($p < 0.01$). The α -globulins and β -globulins remained within the reference values, the difference with the control is reliable and is 3.2 % ($p < 0.01$) and 4.2 % ($p < 0.05$), respectively. The amount of γ -globulins in the experimental groups exceeds the reference values by 6.7–22.2 %. The level of cholesterol in the blood of calves of experimental groups was within the reference values with some decrease in the experimental group by 5.3 % ($p < 0.001$). The level of total protein in calves has underestimated values in control and experimental groups by 1.1 and 4.9 % compared to reference values.

Приоритетной задачей, поставленной перед сельхозпроизводителями на сегодняшний день, является увеличение производства продукции животноводства. Выращивание молодняка крупного рогатого скота ставит своей целью достичь высокой живой массы и сохранности телят, однако это во многих случаях сдерживается по причине крайне слабой скорости роста телят в первые месяцы жизни, что обусловлено медленным развитием в преджелудках микрофлоры, дисбактериозами и иммунодефицитами. Для обеспечения сохранности молодняка и получения максимального выхода продукции необходимо создавать оптимальные условия содержания и кормления сельскохозяйственных животных [1, 2].

Одну из основных ролей в пищеварении жвачных выполняют микроорганизмы рубца. Микрофлора кишечника принимает участие в формировании продуктивных качеств животного, осуществляет защиту от патогенных бактерий и способствует иммунной защите организма. Существенную роль на микробиом рубца оказывает состав рациона [3, 4]. Вследствие смены молочного кормления на иной рацион у телят возникает расстройство желудочно-кишечного тракта, а при однотипном кормлении в рубце снижается количество целлюлозолитических бактерий, увеличивается численность амилотических микроорганизмов, pH снижается и создаются условия для развития условно-патогенной и патогенной микрофлоры. Нарушения микробиоты рубца приводят к проникновению через поврежденную слизистую оболочку патогенных микроорганизмов [4, 5].

Для повышения резистентности организма молодняка и нормализации работы желудочно-кишечного тракта в качестве альтернативы антибио-

тикам активно применяют пробиотики. Высокий спрос на широкое применение пробиотиков в животноводстве возник после ограничений на повсеместное использование кормовых антибиотиков в связи с проблемой антибиотикорезистентности как у животных, так и у людей, потребляющих продукты животноводства [6].

Пробиотики являются безопасными, так как в своем составе содержат представителей нормальной микрофлоры ЖКТ, влияют на биохимические и физиологические показатели молодого организма, что в перспективе отражается на общем состоянии и продуктивности животных. Таким образом, пробиотики являются перспективной альтернативой профилактическим антимикробным препаратам [2, 5, 6]. Механизм действия пробиотиков обеспечивается заселением конкурентноспособных штаммов бактерий, способных сдерживать рост условно-патогенной микрофлоры и проявление ее патогенности [4, 7].

Пробиотики способствуют наиболее эффективной усвояемости кормов, стимулируют рост, повышают неспецифический иммунитет, снижая тем самым затраты на кормление и повышая сохранность молодняка, что положительно сказывается на продуктивности животных [2, 8, 9]. У жвачных животных пробиотики способствуют улучшению здоровья кишечника, стимулируя развитие здоровой микробиоты. В качестве пробиотиков для жвачных животных часто используются бактерии из родов *Bacillus*, *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Propionibacterium* [10, 11].

Состав пробиотиков может варьироваться от препаратов, содержащих один штамм микроорганизма, до препаратов, содержащих несколько штаммов. От многоштаммовых пробиотических препаратов ожидают широкого спектра действия,

поскольку он может быть активен в отношении различных микробных инфекций [12].

Лактобациллы в качестве потенциального пробиотика обладают рядом преимуществ: они безопасны, способны продуцировать молочную кислоту и ингибирующие соединения – бактерицины [13]. Молочная кислота активно подавляет рост и развитие гнилостных, условно-патогенных и патогенных микроорганизмов [11]. Лактобациллы способны вырабатывать некоторые атимикробные молекулы, такие как жирные кислоты, этанол, перекись водорода. Имеют выраженные ферментативные свойства, продуцируют пищеварительные ферменты, в кишечнике лактобациллы действуют симбиотически. Многие исследования последних лет доказывают иммуностимулирующую способность лактобацилл [14].

В свою очередь, пропионовокислые бактерии обладают антимутагенными свойствами, проявляют антагонистические свойства в отношении условно-патогенных микроорганизмов. Обладают высокой биосовместимостью с лактобациллами, стимулируют рост полезной микрофлоры желудочно-кишечного тракта. Самым значимым свойством пропионовокислых бактерий является синтез витамина В12, который принимает активное участие во многих физиологических процессах в организме человека и животного [15].

Таким образом, применение биологически активных добавок и отказ от антибиотиков в животноводстве – актуальное направление в современных исследованиях [16].

Целью исследования являлась оценка применения экспериментального пробиотического препарата в кормлении телят молочного периода выращивания.

Задачи исследования:

- выработать пробиотический препарат для кормления телят молочного периода выращивания;
- изучить особенности влияния пробиотического препарата на продуктивные показатели животных;
- определить влияние пробиотического препарата на физиологическое состояние животных.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование проводили на молодняке крупного рогатого скота черно-пестрой породы с момента рождения и до 9-месячного возраста на базе филиала ФГБНУ ФАНЦА «ПЗ «Комсомольское» Павловского района Алтайского края. По

принципу групп аналогов были сформированы две группы телят по 10 голов в каждой. На опыт были поставлены клинически здоровые телята в 10-дневном возрасте, со средней массой 31 кг при рождении.

Телята контрольной группы получали основной рацион, предусмотренный схемой кормления хозяйства, телята опытной группы помимо основного рациона дополнительно получали жидкий экспериментальный пробиотический препарат в течение 30 дней в дозировке: 40 мл/голову – 11–20 день, 50 мл/голову – 21–30 день, 70 мл/голову – 31–40 день жизни.

Экспериментальный пробиотический препарат изготавливали в лаборатории прикладной биотехнологии ФГБНУ ФАНЦА на основе молочнокислых палочек (*Lactobacillus plantarum*, штаммы СКМ 673, СКМ 681) и пропионовокислых бактерий (*Propionibacterium freudenreichii* spp., штаммы 11₁, 11₂, 149), взятых из Сибирской коллекции микроорганизмов лаборатории микробиологии молока и молочных продуктов отдела СибНИИС ФГБНУ ФАНЦА. Выработка препарата представляла собой совместное, поочередное культивирование лактобацилл и пропионовокислых бактерий при температуре 30 °С в течение 72 ч на питательной среде, состоящей из деминерализованной сыворотки и отвара из зерновых отрубей в соотношении 50 : 50 % и дозой внесения микроорганизмов в количестве по 1,0 %. Оценку качества экспериментального пробиотического препарата проводили по определению количества молочнокислых палочек и пропионовокислых бактерий методом предельных разведений, активную кислотность определяли потенциометрически с помощью рН-метра Testo 205 (Германия).

Влияния пробиотического препарата на продуктивные показатели оценивали по динамике роста живой массы телят, расчета относительного и абсолютного прироста от начала опыта и до 9-месячного возраста с интервалами в 1 мес. до 3-месячного возраста и далее 1 раз в три месяца, с помощью механических весов на платформе.

Изучение влияния экспериментального пробиотического препарата на физиологическое состояние животных проводили по показателям крови телят на 30-й день после выпаивания в лаборатории ветеринарии отдела Алтайского научно-исследовательского института животноводства и ветеринарии и лаборатории аналитических исследований ФГБНУ ФАНЦА.

Достоверность результатов опыта по отношению к контрольной группе рассчитывается по *t*-критерию Стьюдента для независимых выборок, статистически значимыми будут считаться различия при **p* < 0,05; ***p* < 0,01; ****p* < 0,001.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В лабораторных условиях провели три выработки пробиотического препарата для телят молочного периода (табл. 1). Оценку качества пробиотического препарата проводили по определению количества молочнокислых палочек и пропионовокислых бактерий, активной кислотности.

Таблица 1

Микробиологические и физико-химические показатели пробиотического препарата
Microbiological and physicochemical parameters of probiotic preparation

Номер лабораторной выработки	<i>Lactobacillus plantarum</i> , КОЕ/см ³	<i>Propionibacterium freudenreichii</i> spp. КОЕ/см ³	Активная кислотность, ед.
1	(2,0 ± 0,19)×10 ⁹	(1,0 ± 0,08)×10 ⁹	(5,1 ± 0,12)
2	(5,4 ± 0,21)×10 ⁸	(2,2 ± 0,15)×10 ⁸	(5,0 ± 0,14)
3	(6,3 ± 0,41)×10 ⁸	(1,1 ± 0,14)×10 ⁹	(5,1 ± 0,20)

Экспериментальный пробиотический препарат в своем составе содержал не менее 10⁸ КОЕ/см³ *Lactobacillus plantarum* и *Propionibacterium freudenreichii* spp. Активная кислотность препарата 5,0–5,1 ед. обеспечивает сохранность бактерий на протяжении проведения научно-хозяйственного опыта. Такой уровень кислотности создает условия для проявления специфических

свойств *Lactobacillus plantarum*, *Propionibacterium freudenreichii* spp.

Основополагающим фактором, характеризующим высокий уровень эффективности производства продукции скотоводства, считается динамика изменения живой массы молодняка. По результатам взвешиваний установили изменения живой массы телят (рис. 1).

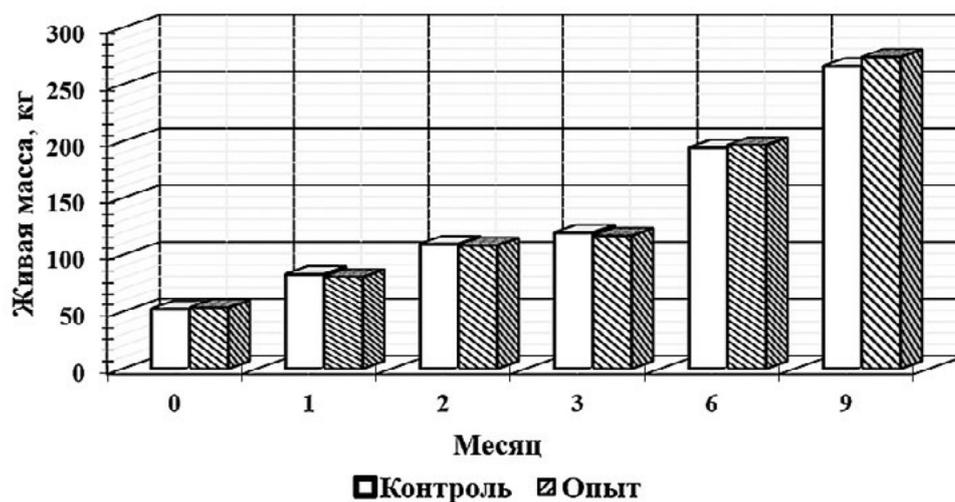


Рис. 1. Живая масса телят
Live weight of calves

Согласно результатам анализа животные опытной группы, которым скармливали экспериментальный пробиотический препарат, за первые три месяца не имели достоверной разницы по живой массе, что обусловлено кишечным типом пищеварения телят до 3-месячного возраста, а

применяемые микроорганизмы участвуют в рубцовом пищеварении, где их интенсивный рост отмечается у телят с 3-месячного возраста. В 6 мес. у молодняка опытной группы отмечается увеличение живой массы до 196,7 кг, что выше в сопоставлении с животными группы контро-

ля на 2,3 кг, или 1,2 %. В 9-месячном возрасте живая масса телят опытной группы выше, чем у животных контрольной группы на 8,0 кг, или 3,0 %, разница достоверна ($p < 0,05$).

По приростам живой массы (среднесуточному и относительному) дают оценку скорости роста животного. Чем выше среднесуточные приросты, тем быстрее растет животное. Приросты среднесуточный и относительный рассчитывались на основании данных индивидуальных взвешиваний.

Наряду с увеличением живой массы подопытных животных повысились и среднесуточные приросты (рис. 2). Исключением является 3-й

месяц, когда отмечено значительное снижение приростов на 79,1 и 78,1% по сравнению с 1-м месяцем жизни, как в опытной, так и в контрольной группах, что обусловлено переводом телят в общие клетки вне помещений под холодным навесом. Начиная с 6-го месяца исследований у молодняка, потреблявшего пробиотический препарат, наметилась позитивная тенденция к повышению среднесуточных приростов живой массы. Так, разница составила с контролем 6,7 %. Эта динамика сохранилась и в 9-месячном возрасте, разница с контролем составила 8,0 %.

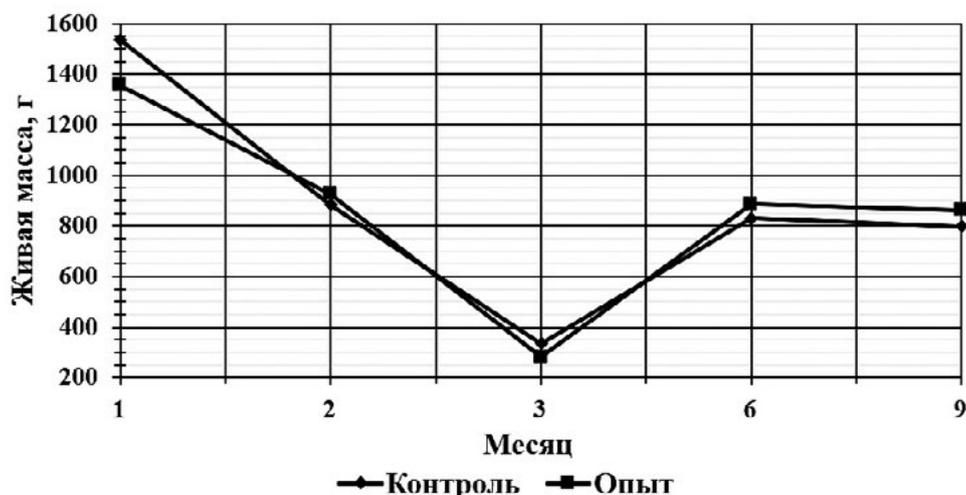


Рис. 2. Среднесуточный прирост живой массы телят
Average daily gain in live weight of calves

По результатам оценки относительного прироста живой массы (рис. 3), установили, что максимальное значение этого показателя наблю-

далось в 6-месячном возрасте телят, разница с контролем составила 5,8 %.

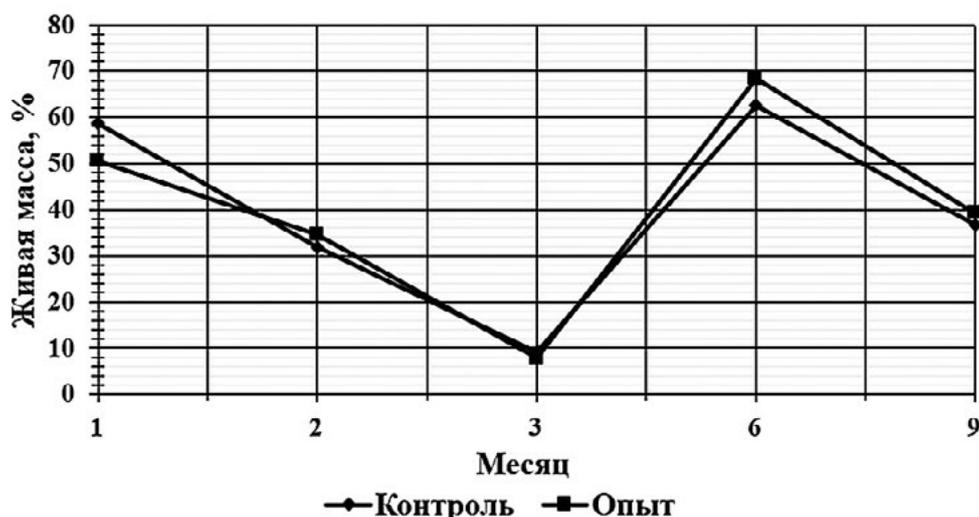


Рис. 3. Относительный прирост живой массы телят
Relative gain in live weight of calves

Динамика абсолютного прироста телят за весь период исследования представлена на рис. 4. В среднем за 9 мес. выращивания телят контрольной группы абсолютный прирост живой массы

оказался равным 213,8 кг, у телят опытной группы – 220,6 кг, что превысило группу контроля на 6,8 кг.

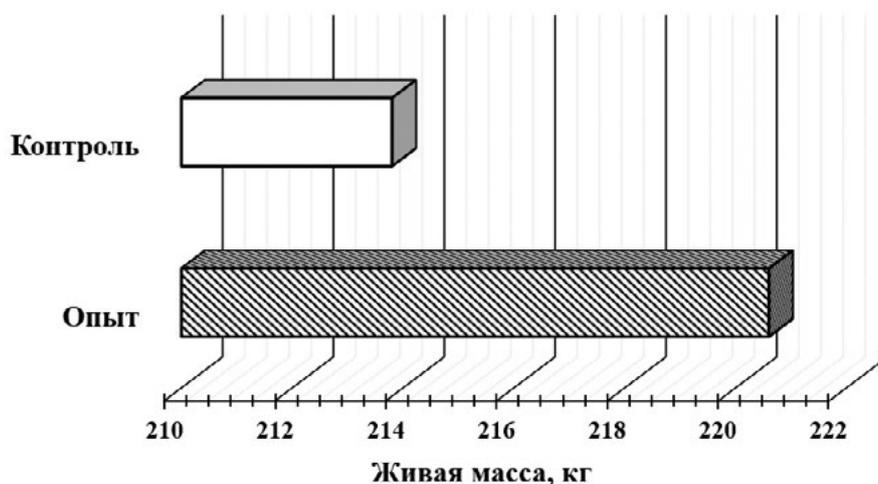


Рис. 4. Абсолютный прирост живой массы
Absolute gain in live weight

Сохранность молодняка является приоритетным направлением развития животноводства. В хозяйстве, в котором осуществляли проведение опыта, уделяют особое внимание сохранности телят, поэтому как в группе контроля, так и в опытной группе до 9-месячного возраста сохранность молодняка составила 100 %.

О физиологическом состоянии животных можно судить по показателям сыворотки крови (табл. 2). Анализируя результаты, следует отметить, что пробиотический препарат, который входил в состав рациона телят опытной группы, не оказывал отрицательного воздействия на отдельные показатели белкового и углеводно-жирового обмена.

Таблица 2

Показатели крови телят
Blood parameters of calves

Показатель	Норма	Группа	
		Контроль	Опыт
Общий белок, г/л	61–63	60,3±1,51	58,0±1,18
Альбумины, г/л	29–33	39,6±0,56	40,5±0,84**
α-глобулины, г/л	8–10	9,4±0,32	9,7±0,14**
β-глобулины, г/л	8,7–10,2	9,6±0,23	10,0±0,09*
γ-глобулины, г/л	12–18	19,2±0,8	22,0±1,3**
Глюкоза, ммоль/л	4,5–5,5	6,1±0,25	5,5±0,37
Холестерин, ммоль/л	1,6–5,0	3,8±0,21	3,6±0,21***
Триглицериды, ммоль/л	0,03–0,55	0,69±0,048	0,56±0,028
АсАТ, Ед/л	45–110	45,6±3,08	45,8±1,80
АлАТ, Ед/л	6,9–35	18,8±4,09	15,0±3,02
Резервная щелочность, об.% CO ₂	53–55	56,8±1,50	56,0±0,63
Кальций, ммоль/л	2,1–3,8	2,8±0,08	3,0±0,23
Фосфор, ммоль/л	1,45–2,5	2,4±0,28	2,0±0,22*

Примечание. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Анализ полученных данных свидетельствует, что содержание альбуминов в сыворотке крови телят имеет высокие значения как в контроле, так и в опытной группе, при этом у животных, получавших пробиотический препарат, значения выше на 2,3 % ($p < 0,01$). Такой уровень, возможно, обусловлен перевариваемостью корма за счет лактобацилл, которые повышают усвояемость питательных веществ, а также усиливают ферментацию в рубце, в частности, казеин молока подвергается действию протеолитических ферментов молочнокислой микрофлоры и гидролизуются до пептидов, аминокислот, образуя в крови животного альбумины [17, 18].

В рамках референсных значений остались такие показатели, как α -глобулины, β -глобулины, разница с контролем достоверна и составляет 3,2 % ($p < 0,01$) и 4,2 % ($p < 0,05$) соответственно. Количество γ -глобулинов в подопытных группах превышает референсные значения на 6,7–22,2 %, такое превышение у месячных телят, возможно, обусловлено снижением уровня колострального иммунитета, а в опытной группе свидетельствует о проникновении бактерий пробиотика в лимфатическую ткань кишечника, что стимулирует пролиферацию иммунокомпетентных клеток [19, 20].

Уровень холестерина в крови телят подопытных групп находился в пределах референсных значений с некоторым снижением в опытной на 5,3 % ($p < 0,001$). Возможно, это обусловлено действием эстераз лактобактерий пробиотика на жиры молока с расщеплением их до свободных жирных кислот [18]. Уровень общего белка у телят имеет заниженные значения в контрольной и опытной группах на 1,1 и 4,9 % по сравнению с референсными значениями.

Существенных межгрупповых различий по содержанию в сыворотке крови опытных животных глюкозы, триглицеридов, аспаратами-

нотрансферазы (АсАТ) и аланинаминотрансферазы (АлАТ), резервной щелочности, кальция не установлено.

В целом динамика изменения содержания биохимических показателей в сыворотке крови согласуется с характером изменения интенсивности роста молодняка крупного рогатого скота и обусловлена условиями кормления и содержания животных в хозяйстве.

Таким образом, использование жидкого пробиотического препарата в кормлении телят черно-пестрой породы способствует лучшей динамике роста живой массы и увеличению приростов, но применяемая дозировка не обеспечила в полной мере выравнивание всех показателей крови телят молочного периода в пределах нормативных значений.

ВЫВОДЫ

1. Выработан экспериментальный пробиотический препарат для телят молочного периода выращивания с содержанием *Lactobacillus plantarum* и *Propionibacterium freudenreichii* spp. не менее 10^8 КОЕ/см³ и активной кислотностью 5,0–5,1 ед.

2. В ходе эксперимента установили увеличение живой массы телят опытной группы в 9-месячном возрасте на 3,0 % ($p < 0,05$), среднесуточного и абсолютного прироста на 8,0 и 3,2 % соответственно.

3. Анализ сыворотки крови подопытных животных показал, что препарат не оказал отрицательного воздействия на отдельные показатели белкового и углеводно-жирового обмена, а динамика изменения содержания биохимических показателей в сыворотке крови была характерна для изменений интенсивности роста молодняка крупного рогатого скота.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернышкова Е.В., Десятов О.А., Воеводин Ю.Е. Рубцовое пищеварение и продуктивность у телят при использовании сорбирующе-пробиотической добавки Биопинулар // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 1(45). – С. 131–135. – DOI: 10.18286/1816-4501-2019-1-131-135.
2. 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.
3. *Propionic acid bacteria enhance ruminal feed degradation and reduce methane production in vitro* / J. Chen, O.M. Harstad, T. McAllister [et al.] // Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science. – 2020. – № 69(3). – P. 169–175. – DOI: 10.1080/09064702.2020.1737215.
4. Афанасьева А.И., Сарычев В.А., Сосин И.В. Влияние ферментно-пробиотического препарата «Профорт» на микрофлору рубца и воспроизводительную функцию коров // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 134–141. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-134-141.

5. Шаймухаметов М.А., Мударисов Р.М., Хакимов И.Н. Влияние пробиотиков на динамику роста молодняка крупного рогатого скота в условиях вариации микроклимата // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. – 2024. – № 2(29). – С. 148–152. – DOI: 10.48612/vch/n46m-6r2h-m7v5.
6. Николаева О.Н. Иммуномодулирующий потенциал пробиотиков // Ветеринарный врач. – 2023. – № 3. – С. 44–54. – DOI: 10.33632/1998-698X_2023_3_44.
7. Effect of probiotics on the growth, blood profile, and nutritional-metabolic profile of feedlot cattle / F.I. Mansilla, M.C.A. Fico seco, M.H. Miranda [et. al.] // Academia Biology. – 2024. – Vol. 2, № 3. – P. 1–14. – DOI: 10.20935/AcadBiol7287.
8. Пробиотический препарат СБТ-Лакто и фитобиотик экстракт чабреца как стимуляторы роста телят / А.И. Шевченко, С.А. Шевченко, Е.Ю. Заборских [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 4(69). – С. 313–318. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-69-4-313-318.
9. Várhidi Z., Máté M., Ózsvári L. The use of probiotics in nutrition and herd health management in large hungarian dairy cattle farms // Frontiers in Veterinary Science. – 2022. – Vol. 9. – P. 1–14. – DOI: 10.3389/fvets.2022.957935.
10. Changes in rumen fermentation and bacterial profiles after administering *Lactiplantibacillus plantarum* as a probiotic / W.D. Astuti, R. Ridwan, R. Fidriyanto [et. al.] // Veterinary World. – 2022. – Vol. 15, № 8. – P. 1969–1974. – DOI: 10.14202/vetworld.2022.1969-1974.
11. Орлова Т.Н., Омт Е.Ф. Изучение перспективных штаммов *Lactobacillus plantarum* для дальнейшего их использования в животноводстве и птицеводстве // Ветеринария и зоотехния. – 2021. – № 10. – С. 85–88. – DOI: 10.53083/1996-4277-2021-204-10-85-88.
12. The potential benefits of probiotics in animal production and health / Н.Н. Musa, S.L. Wu, C.H. Zhu [et al.] // Journal of Animal and Veterinary Advances. – 2009. – № 8(2). – P. 313 – 321.
13. Benefits and inputs from lactic acid bacteria and their bacteriocins as alternatives to antibiotic growth promoters during food-animal production / N. Vieco-Saiz, Y. Belguesmia, R. Raspoet [et al.] // Front. Microbiol. – 2019. – № 10. – P. 1–17. – DOI: 10.3389/fmicb.2019.00057.
14. Заболоцкая Т.В., Штауфен А.В., Миронова Е.Е. Применение пробиотиков на основе *Lactobacillus casei* в пчеловодстве // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 8(110). – С. 24–27. – DOI: 10.23670/IRJ.2021.110.8.040.
15. Орлова Т.Н. Изучение биологической активности пропионовокислых бактерий // The scientific heritage. – 2021. – № 79. – С. 31–33.
16. Буяров В.С., Мальцева М.А., Алдобаева Н.А. Научно-практическое обоснование применения пробиотиков в молочном скотоводстве и мясном птицеводстве // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2018. – № 2. – С. 79–86.
17. New probiotics (*Lactobacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae*) supplemented to fermented rice straw-based rations on digestibility and rumen characteristics in vitro / Y. Marlida, H. Harnentis, Y.S. Nur [et. al.] // Journal of Advanced Veterinary and Animal Research. – 2023. – Vol. 10, № 1. – P. 96–102. – DOI: 10.5455/javar.2023.j657.
18. Лактобациллы и их применение в биотехнологии / И.А. Функ, Е.Ф. Отт, Т.Н. Орлова [и др.] // Молочная промышленность. – 2020. – № 6. – С. 19–21. – DOI: 10.31515/1019-8946-2020-06-19-20.
19. Противовирусный колостральный иммунитет и респираторные болезни у телят первого месяца жизни / Л.И. Ефанова, А.И. Золотарев, А.Е. Черницкий [и др.] // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. – 2013. – № 3(19). – С. 30–36.
20. Шабанова Е.О. Применение пробиотических препаратов «Фенерджик Про» и «Пиг протектор» для профилактики желудочно-кишечных болезней поросят // Пермский аграрный вестник. – 2019. – № 4(28). – С. 146–152.

REFERENCES

1. Chernyshkova E.V., Desyatov O.A., Voevodin Yu.E., *Vestnik Ul'yanovskoi GSKhA*, 2019, No. 1(45), pp. 131–135, DOI: 10.18286/1816-4501-2019-1-131-135. (In Russ.)
2. Funk I.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2022, No. 3(64), pp. 134–141, DOI: 10.31677/2072-6724-2022-64-3-134-141. (In Russ.)
3. Chen J., Harstad O.M., McAllister T. Dörsch P., Holo H., Propionic acid bacteria enhance ruminal feed degradation and reduce methane production in vitro, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science*, 2020, No. 69(3), pp. 169–175, DOI: 10.1080/09064702.2020.1737215.
4. Afanas'eva A.I., Sarychev V.A., Sosin I.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2024, No. 4(73), pp. 134–141, DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-134-141. (In Russ.)
5. Shaimukhametov M.A., Mudarisov R.M., Khakimov I.N., *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2024, No. 2(29), pp. 148–152, DOI: 10.48612/vch/n46m-6r2h-m7v5. (In Russ.)
6. Nikolaeva O.N., *Veterinarnyi vrach*, 2023, No. 3. pp. 44–54, DOI: 10.33632/1998-698X_2023_3_44. (In Russ.)

7. Mansilla F.I., Ficoseco M.C.A., Miranda M.H., Villar M.D.U., Vignolo G.M., Nader-Macias M.E.F., Effect of probiotics on the growth, blood profile, and nutritional-metabolic profile of feedlot cattle, *Academia Biology*, 2024, Vol. 2, No. 3, pp. 1–14, DOI: 10.20935/AcadBio17287.
8. Shevchenko A.I., Shevchenko S.A., Zaborskikh E.Yu., Buguev E.G., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2023, No. 4(69), pp. 313–318, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-69-4-313-318. (In Russ.)
9. Várhidi Z., Máté M., Ózsvári L., The use of probiotics in nutrition and herd health management in large hungarian dairy cattle farms, *Frontiers in Veterinary Science*, 2022, Vol. 9, pp. 1–14, DOI: 10.3389/fvets.2022.957935.
10. Astuti W.D., Ridwan R., Fidriyanto R., Rohmatussolihat R., Sari N.F., Sarwono K.A., Fitri A., Widyastuti Y., Changes in rumen fermentation and bacterial profiles after administering *Lactiplantibacillus plantarum* as a probiotic, *Veterinary World*, 2022, Vol. 15, No. 8, pp. 1969–1974, DOI: 10.14202/vetworld.2022.1969-1974.
11. Orlova T.N., Ott E.F., *Veterinariya i zootekhnika*, 2021, No. 10, pp. 85–88, DOI: 10.53083/1996-4277-2021-204-10-85-88. (In Russ.)
12. Musa H.H., Wu S.L., Zhu C.H., Seri H.I., Zhu G.Q., The potential benefits of probiotics in animal production and health, *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2009, No. 8(2), pp. 313–321,
13. Vieco-Saiz N., Belguesmia Y., Raspoet R., Auclair E., Gancel F., Kempf I., Drider D., Benefits and inputs from lactic acid bacteria and their bacteriocins as alternatives to antibiotic growth promoters during food-animal production, *Front. Microbiol.*, 2019, No. 10, pp. 57, DOI: 10.3389/fmicb.2019.00057.
14. Zabolotskaya T.V., Shtaufen A.V., Mironova E.E., *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2021, No. 8(110), pp. 24–27, DOI: 10.23670/IRJ.2021.110.8.040. (In Russ.)
15. Orlova T.N., *The scientific heritage*, 2021, No. 79, pp. 31–33. (In Russ.)
16. Buyarov V.S., Mal'tseva M.A., Aldobaeva N.A., *Agrarnyi vestnik Verkhnevolzh'ya*, 2018, No. 2, pp. 79–86. (In Russ.)
17. Marlida Y., Harnentis H., Nur Y.S., Ardani L.R., New probiotics (*Lactobacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae*) supplemented to fermented rice straw-based rations on digestibility and rumen characteristics in vitro, *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 2023, Vol. 10, No. 1, pp. 96–102, DOI: 10.5455/javar.2023.j657.
18. Funk I.A., Ott E.F., Orlova T.N., Dorofeev R.V., Shevchenko K.E., *Molochnaya promyshlennost'*, 2020, No. 6, pp. 19–21, DOI: 10.31515/1019-8946-2020-06-19-20. (In Russ.)
19. Efanova L.I., Zolotarev A.I., Chernitskii A.E., Manzhurina O.A., Parfenova I.V., Adodina M.I., *Aktual'nye voprosy veterinarnoi biologii*, 2013, No. 3(19), pp. 30–36. (In Russ.)
20. Shabanova E.O., *Permskii agrarnyi vestnik*, 2019, No. 4(28), pp. 146–152. (In Russ.)

Информация об авторах:

Ю.Г. Афанасьева, младший научный сотрудник
 Е.В. Колодина, младший научный сотрудник
 Е.Р. Корбмахер, младший научный сотрудник
 Е.В. Шуваев, младший научный сотрудник
 И.Н. Гришаева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

Contribution of the authors:

Yu.G. Afanaseva, Junior Research Fellow
 E.V. Kolodina, Junior Research Fellow
 E.R. Korbmakher, Junior Research Fellow
 E.V. Shuvaev, Junior Research Fellow
 I.N. Grishaeva, Candidate of biological sciences, Leading Researcher

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ *ARTEMIA* SPP. (CRUSTACEA: ANOSTRACA) ИЗ РАЗНОТИПНЫХ ГИПЕРГАЛИННЫХ ОЗЕР ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Л.В. Веснина, Д.М. Безматерных, М.В. Лассый, Ю.А. Веснин

Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, Барнаул, Россия

E-mail: artemia.vesnina@mail.ru

Для цитирования: Морфометрические особенности *Artemia* spp. (Crustacea: Anostraca) из разнотипных гипергалинных озер юга Западной Сибири / Л.В. Веснина, Д.М. Безматерных, М.В. Лассый, Ю.А. Веснин // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 125–141. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-125-141.

Ключевые слова: артемия, жаброноги, популяции, морфометрические признаки, гипергалинные озера, рапа, Алтайский край.

Реферат. Приведены новые данные о морфометрических характеристиках жаброногих рачков рода *Artemia* из восьми разнотипных гипергалинных озер юга Западной Сибири (Алтайский край). Выполнен статистический анализ морфометрических признаков самок и самцов взрослых особей артемии для выяснения отличий популяций. Проведенные измерения длины тела показали четкие различия между популяциями рачков из гипергалинных озер, отличающихся по степени минерализации рапы от 41,2 (оз. Малое Шкло) до 251,4 г/л (оз. Кучукское). Выявлено, что в зависимости от условий среды обитания рачки меняют свои размеры и форму. Наиболее переменными у самок и самцов оказались фуркальные признаки: длина фурки *fl* (у самок $C_v = 43,69\%$, у самцов $C_v = 25,47\%$), количество щетинок на правой *sf-r* и левой *sf-l* (у самок $C_v = 79,86\%$; $81,21\%$, у самцов $C_v = 28,56\%$; $29,17\%$) и отношение длины фурки к длине абдомена *fl/al* (у самок $C_v = 49,99\%$, у самцов $C_v = 27,64\%$). На основе морфометрических показателей построена дендрограмма сходства партеногенетических и бисексуальных популяций артемии в разнотипных гипергалинных озерах. Кластерный анализ позволил разделить исследованные популяции на три группы, которые обитают в озерах разного уровня минерализации рапы. Проведен корреляционный анализ морфометрических признаков с соленостью рапы. Показано, что самые сильные корреляционные связи характерны для фуркальных показателей, с отличием в том, что у самок связи отрицательные (*fl*: $r = -0,54$; $p < 0,05$), а у самцов – положительные (*fl*: $r = 0,53$; $p < 0,05$).

MORPHOMETRIC FEATURES OF *ARTEMIA* SPP. (CRUSTACEA: ANOSTRACA) FROM DIFFERENT TYPES OF HYPERHALINE LAKES IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

L.V. Vesnina, D.M. Bezmaternyh, M.V. Lassyi, Yu.A. Vesnin

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia

E-mail: artemia.vesnina@mail.ru

Keywords: fairy shrimp, branchipods, populations, morphometric features, hypersaline lakes, brine, Altai Krai.

Abstract. New data on morphometric characteristics of branchipods crustaceans of the genus *Artemia* from 8 different types of hyperhaline lakes in the south of Western Siberia (Altai Krai) are presented. Statistical analysis of morphometric characters of females and males of adult *Artemia* was performed to clarify the differences between populations. Measurements of body length showed clear differences between populations of crustaceans from hyperhaline lakes differing in the degree of water salinity from 41.2 (Lake Maloe Shklo) to 251.4 g/l (Lake Kuchukskoe). It was revealed that depending on the habitat conditions, the crustaceans change their size and shape. Furcal features were the most variable in females and males: furca length *fl* (females $C_v = 43.69\%$, males $C_v = 25.47\%$), number of bristles on the right *sf-r* and left furca *sf-l* (females $C_v = 79.86\%$; 81.21% , males $C_v = 28.56\%$; 29.17%) and the ratio of furca length to abdominal length *fl/al* (females $C_v = 49.99\%$, males $C_v = 27.64\%$). Based on morphometric indices, a dendrogram of similarity between parthenogenetic and bisexual *Artemia* populations in different types of hyperhaline lakes was constructed. Cluster analysis made it possible to divide the studied populations into 3 groups, which inhabit lakes of different levels of water salinity. Correlation analysis of morphometric characters with water salinity was carried out. It is shown that the strongest correlations

are characteristic for furcal indices, with the difference that in females the correlations are negative ($fl: r = -0.54; p < 0,05$), and in males - positive ($fl: r = 0.53; p = 0,05$).

В связи с изменением климата во многих регионах Земли наблюдается увеличение солености водоемов, что ведет к росту числа гипергалинных озер. Это, в свою очередь, влияет на эффективность их использования в хозяйственной деятельности. Некоторые виды гидробионтов, обитающие в гипергалинных озерах, являются ценными биологическими ресурсами.

Во всем мире науплии *Artemia* spp. используют как стартовый корм в аквакультуре широкого спектра морских и пресноводных ракообразных и личинок рыб. С расширением производства аквакультуры спрос на цисты артемии продолжает расти. В настоящее время ежегодное потребление цист артемии составляет, как минимум, в 3500 т, что оценивается примерно 150 млн дол. США. Этот объем используется для производства более 900 млрд ракообразных и мальков рыб. Кроме того, для кормления разных видов морекультуры используется более 100 тыс. т взрослого рачка артемии стоимостью более 50 млн дол. США [1].

В настоящее время разработаны новые технологии для получения высококачественной продукции из сырья цист артемии, которые приводят к контролируемому и более оптимизированному использованию цист в практике аквакультуры [2].

Рачки артемии характеризуются высокой экологической пластичностью и могут менять свои размеры и форму в зависимости от внешних факторов, основным из которых многие исследователи считают концентрацию солей в воде [3–6].

Морфологические признаки разных популяций артемии изучаются во всем мире для дифференциации и идентификации видов. Кроме того, эти морфометрические различия между особями или популяциями одного и того же вида могут быть обусловлены средой их обитания и/или генотипической изменчивостью [7]. Более ранние исследования по морфометрии и морфологии *Artemia* spp. показали различия морфологических признаков среди популяций, обнаруженных в разных географических районах, особенно в прибрежных районах Индии, Китая, Европы и Африки [8–10]. Авторы из Индии и Тайваня обнаружили 6 морфотипов на основе изучения их морфометрических признаков [11]. По морфометрическим показателям были выявлены отличия самок и самцов артемии Северной Америки и Карибского побережья Колумбии [12]. Ранее проведенные исследования размерно-весовых

характеристик артемии разнотипных озер юга Западной Сибири пока недостаточны для достоверной дифференциации популяций артемии.

Цель исследования – изучение изменчивости морфометрических признаков самцов и самок артемии разнотипных гипергалинных озер юга Западной Сибири в зависимости от минерализации рапы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом для исследования послужили сборы ракообразных – жаброногого рачка *Artemia* spp. (Crustacea: Anostraca) в период 2024 г. с разнотипных гипергалинных озер юга Западной Сибири (Алтайский край): оз. Мормышанское Романовского района (52°30'39" с.ш.; 81°16'25" в.д.); оз. Кучукское Благовещенского района (52°42'06" с.ш.; 79°46'40" в.д.); оз. Кулундинское Благовещенского, Суетского районов и г. Славгород (52°58'48" с.ш.; 79°32'44" в.д.); оз. Малое Яровое, г. Славгород (53°02'39" с.ш.; 79°07'37" в.д.); оз. Большое Яровое, г. Славгород (52°52'09" с.ш.; 78°36'53" в.д.); оз. Малое Шкло Кулундинского района (52°34'20" с.ш.; 79°02'47" в.д.); оз. Тана-тар III Михайловского района (51°39'18" с.ш.; 79°47'39" в.д.); оз. Малиновое Михайловского района (51°42'10" с.ш.; 79°44'49" в.д.) (рис. 1).

Сбор гидробиологического материала осуществляли малой планктонной сетью Апштейна (размер ячеек 64 мкм) и камерально обрабатывали в соответствии со стандартными методиками [13]. Консервацию проб проводили 4%-м раствором формалина.

Для морфометрического анализа всего было изучено 638 самок и 150 самцов рачка артемии партеногенетических и бисексуальных популяций. Анализ проводили по 14 морфометрическим признакам, из которых девять пластических: длина тела tl , длина цефалоторакса cl , длина абдомена al , ширина абдомена aw , расстояние между глазами de , диаметр глаз ed , длина первой антенны la , ширина головной капсулы hw , длина фурки fl ; и пять меристических: отношение длины абдомена к длине тела al/tl , отношение длины цефалоторакса к длине абдомена cl/al , отношение длины фурки к длине абдомена fl/al , количество щетинок на правой и левой фурках $sf-r$, $sf-l$. Обработку проб проводили с использованием стереомикроскопа МБС-10 с окуляр-микрометром.

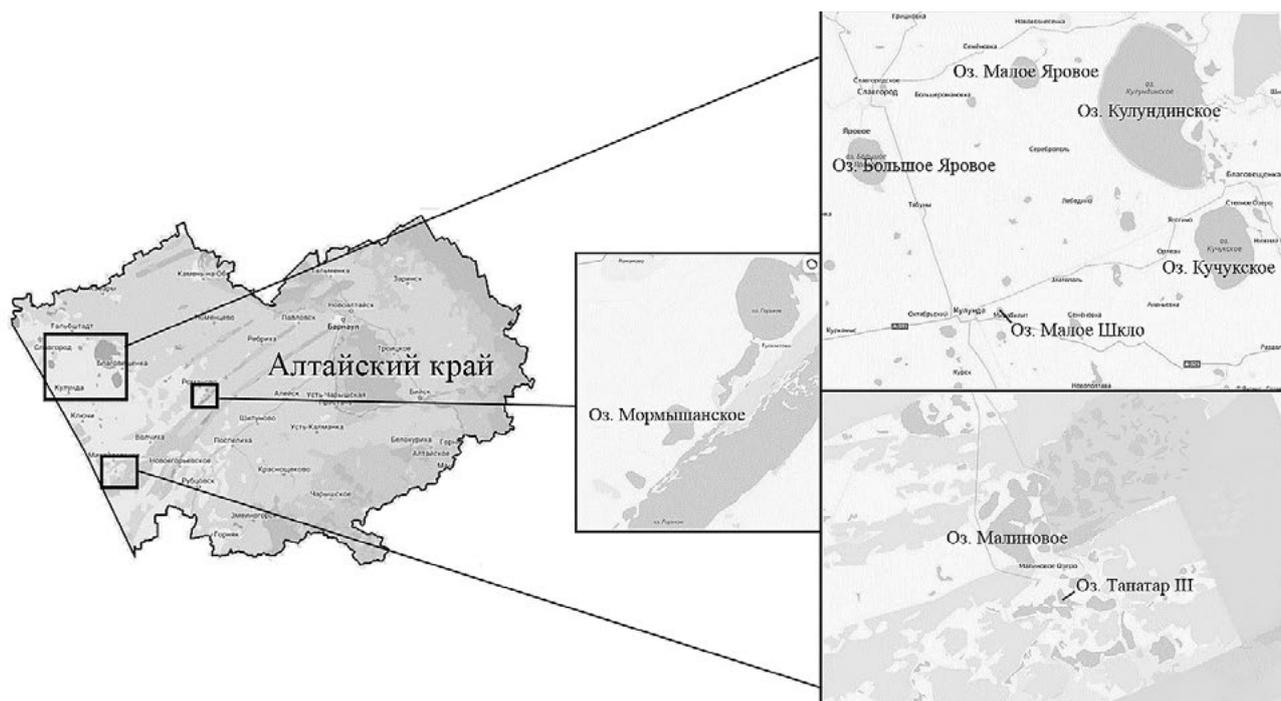


Рис. 1. Карта-схема расположения гипергалинных озер юга Западной Сибири
Map-scheme of the location of hyperhaline lakes in the south of Western Siberia

По данным ДНК-баркодинга [14], выполненного в отделе биотехнологий Алтайского государственного университета, популяции артемии из озер Мормышанское, Кулундинское, Малое Яровое, Большое Яровое и Малиновое относятся к партеногенетическим. Они соответствуют последовательности, которая обозначена в GenBank NCBI как *A. parthenogenetica*. Следует отметить, что *A. parthenogenetica*, как правило, не рассматривается в качестве валидного вида, так обычно называют партеногенетические популяции артемии неясного таксономического положения [15]. Популяции из озер Кучукское, Малое Шкло и Танатар III относятся к бисексуальным. Они соответствуют последовательности, которая обозначена в GenBank NCBI как *Artemia* sp. Kazakhstan.

Для видовой идентификации образцов амплифицировали фрагмент гена COI мтДНК с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР) с использованием пар праймеров – прямой LCO-1490 (GGTCAACAATCATAAAGATATTGG) и обратный HCO-2198 (TAAACTTCAGGGTGACSAAAAAATCA) [16].

Параллельно с отбором проб определяли соленость рапы с помощью портативного рефрактометра ATAGO (Kenco Instruments Co., USA),

температуру воды – с помощью пирометра UNI-T UT300A.

Статистическую обработку данных выполняли по общепринятым методикам [17] с применением программ MS Excel и Statistica 12.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изученные нами гипергалинные озера юга Западной Сибири характеризуются различными абиотическими и биотическими факторами, которые оказывают воздействие на жизнедеятельность гидробионтов. Доминирующим обитателем большинства этих озер выявлен жаброногий рачок *Artemia* spp. Исключением было оз. Кулундинское, где доминировала солоноватоводная фауна. Флуктуирующее значение минерализации рапы в озерах оказывает воздействие на динамику численных показателей, а также различий морфометрических признаков ракообразных [18–20]. Минерализация рапы определяет многие абиотические характеристики водоемов и значима для жизнедеятельности жаброногого рачка. Слишком высокая или низкая минерализация рапы проявляется в угнетении роста, развития и размножения артемии [21].

На юге Западной Сибири описано большое количество различных популяций артемии. Их таксономическое исследование продолжается, видовой статус артемии определен в небольшом количестве популяций [22–24]. Большое количество малых озер в этом регионе приводит к образованию многочисленных изолированных популяций, которые иногда называют расами, зачастую остающимися без точного видового статуса [25]. Известно, что степень генетической дифференциации находится в прямой зависимости от продолжительности изоляции и действия направленного отбора [26, 27]. Высокая пластичность артемии приводит к тому, что внешний вид рачков меняется в зависимости от изменения условий обитания. При этом меняется не только морфология, но и особенности размножения и соотношение полов [28, 29].

Нами определена видовая принадлежность артемии из восьми обследованных гипергалинных озер юга Западной Сибири. Изученные партеногенетические популяции относились к *A. parthenogenetica* (Кулундинское, Малиновое, Большое Шкло и Большое Яровое), а бисексуальные – к *Artemia* sp. Kazakhstan (Кучукское, Танатар и Малое Шкло).

Географическое расположение и основные характеристики исследованных озер представлены в табл. 1. Акватория исследованных озер сильно различалась. К крупным по площади водоемам можно отнести озера Кулундинское и Кучукское. Все озера мелководные, максимальная глубина отмечена в озерах Большое Яровое (7,4 м) и Малое Яровое (5,0 м). Минерализация исследованных озер также сильно различалась с диапазоном колебаний от 41,2 (оз. Малое Шкло) до 251,4 г/л (оз. Кучукское).

Таблица 1

Основные характеристики гипергалинных озер юга Западной Сибири
Main characters of the hypersaline lakes in the south of Western Siberia

Озеро	Площадь, км ²	Высота над уровнем моря, м	Глубина, м		Минерализация, г/л
			средняя	max	
Мормышанское	5,4	192	1,0	1,9	159,3
Кучукское	181,0	98	2,3	3,3	251,4
Кулундинское	728,0	99	3,2	4,9	57,2
Малое Яровое	35,2	92	2,8	5,0	152,4
Большое Яровое	66,7	79	4,4	7,4	130,4
Малое Шкло	1,3	117	0,5	1,2	41,2
Танатар III	11,0	149	0,9	1,9	110,0
Малиновое	11,4	152	1,0	2,3	162,4

Анализ пластических и меристических признаков половозрелых особей артемии из разнотипных гипергалинных озер выявил ряд особенностей у самцов и самок партеногенетических и бисексуальных популяций.

Наиболее вариabельными признаками у самок рачка артемии обоих видов оказались фуркальные показатели: длина фурки *fl*, отношение длины фурки к абдомену *fl/al*, количество щетинок на правой и левой фурках *sf-r*, *sf-l*. Коэффициент вариации этих признаков изменялся от 29,54 до 60,75 % (*A. parthenogenetica*) и от 55,29 до 84,14 (*Artemia* sp. Kazakhstan) (табл. 2). Самки *Artemia* sp. Kazakhstan характеризовались большей вариabельностью, чем *A. parthenogenetica*. Меньше всего варьировали показатели длины тела *tl*,

длины цефалоторакса *cl*, ширины абдомена *aw*, расстояния между глазами *de*, диаметра глаза *ed*, ширины головы *hw*, отношение длины цефалоторакса к длине абдомена *cl/al* и отношения длины абдомена к длине тела *al/tl* – коэффициент вариации был ниже 20 %. По данным других авторов [30], в гипергалинных водоемах Крыма выявлена подобная вариabельность признаков с коэффициентом вариации от 76,62 до 108,80 %, за исключением признаков ширины абдомена *aw*, ширины головы *hw*, отношения длины цефалоторакса к длине абдомена *cl/al* с коэффициентами вариации ниже 20 %.

Морфометрические признаки самок артемии *A. parthenogenetica* и *Artemia* sp. Kazakhstan в гипергалинных озерах юга Западной Сибири
Morphometric characters of the *A. parthenogenetica* and *Artemia* sp. Kazakhstan females in the hypersaline lakes in the south of Western Siberia

Морфометрический параметр	Размер, мм			σ	C _v	Выборка, экз.
	X _{min}	X _{max}	X̄			
<i>Artemia parthenogenetica</i>						
Общая длина тела <i>tl</i> , мм	6,80	15,65	9,87	1,64	16,61	406
Длина абдомена <i>al</i> , мм	3,35	9,60	5,53	1,14	20,74	406
Ширина абдомена <i>aw</i> , мм	0,25	0,65	0,43	0,07	17,25	406
Длина цефалоторакса <i>cl</i> , мм	2,65	6,25	4,16	0,61	14,72	406
Длина фурки <i>fl</i> , мм	0,07	0,41	0,20	0,06	29,54	406
Длина антенны I <i>la</i> , мм	0,50	1,50	0,87	0,18	20,11	406
Расстояние между глазами <i>de</i> , мм	0,65	2,10	1,32	0,23	17,61	406
Ширина головы <i>hw</i> , мм	0,45	1,25	0,76	0,13	17,08	406
Диаметр глаза <i>ed</i> , мм	0,14	0,41	0,25	0,04	15,92	406
Длина цефалоторакса к абдомену <i>cl/al</i>	0,49	1,50	0,77	0,12	15,10	406
Длина абдомена к длине тела <i>al/tl</i>	0,39	0,74	0,56	0,04	7,13	406
Длина фурки к абдомену <i>fl/al</i>	0,01	0,09	0,04	0,01	35,82	406
Кол-во щетинок на правой фурке <i>sf-r</i> , шт.	0,00	14,00	4,08	2,32	56,91	406
Кол-во щетинок на левой фурке <i>sf-l</i> , шт.	0,00	15,00	4,11	2,50	60,75	406
<i>Artemia</i> sp. Kazakhstan						
Общая длина тела <i>tl</i> , мм	6,25	13,9	9,21	1,28	13,91	232
Длина абдомена <i>al</i> , мм	3,10	8,35	4,88	0,86	17,57	232
Ширина абдомена <i>aw</i> , мм	0,20	0,65	0,39	0,07	18,76	232
Длина цефалоторакса <i>cl</i> , мм	2,85	5,90	4,10	0,56	13,54	232
Длина фурки <i>fl</i> , мм	0,03	0,51	0,23	0,13	55,29	232
Длина антенны I <i>la</i> , мм	0,50	1,50	0,86	0,21	24,13	232
Расстояние между глазами <i>de</i> , мм	0,85	2,15	1,37	0,24	17,62	232
Ширина головы <i>hw</i> , мм	0,45	1,25	0,76	0,15	19,33	232
Диаметр глаза <i>ed</i> , мм	0,10	0,40	0,27	0,05	17,05	232
Длина цефалоторакса к абдомену <i>cl/al</i>	0,37	1,25	0,85	0,13	14,82	232
Длина абдомена к длине тела <i>al/tl</i>	0,42	0,67	0,52	0,04	7,29	232
Длина фурки к абдомену <i>fl/al</i>	0,01	0,13	0,05	0,03	57,42	232
Кол-во щетинок на правой фурке <i>sf-r</i> , шт.	0,00	19,00	6,58	5,51	83,73	232
Кол-во щетинок на левой фурке <i>sf-l</i> , шт.	0,00	20,00	6,60	5,55	84,14	232

Примечание. X_{min} – минимальное значение, X_{max} – максимальное значение, X̄ – среднее значение, σ – стандартное отклонение, C_v – коэффициент корреляции.

По нашим данным, у самцов рачка артемии, как и у самок, наиболее вариабельными оказались фуркальные показатели: длина фурки *fl*, отношение длины фурки к абдомену *fl/al*, количество щетинок на правой и левой фурках *sf-r*, *sf-l*. Коэф-

фициент вариации этих признаков изменялся от 25,47 до 29,17 %, что определяет их пониженную вариабельность по сравнению с самками (табл. 3). У остальных признаков, кроме длины антенны I *la*, данный показатель был ниже 20 %. По дан-

ным из озер Крыма [30], длина антенны *la* самцов была слабоварьирующей, с коэффициентом вариации ниже 20 %. По нашим данным, вариация этого признака составляла 24,70 %. Кроме того, коэффициенты вариации общей длины тела *tl*,

длины абдомена *al* и отношения длины цефалоторакса к длине абдомену *cl/al* у самцов крымских популяций составляли соответственно 21,93, 29,84 и 23,79 %, в отличие от самцов популяций юга Западной Сибири (менее 20 %).

Таблица 3

Морфометрические признаки самцов *Artemia* sp. Kazakhstan в гипергалинных озерах юга Западной Сибири
Morphometric characters of the *Artemia* sp. Kazakhstan males in the hypersaline lakes in the south of Western Siberia

Морфометрический параметр	Размер, мм			σ	C _v	Выборка, экз.
	X _{min}	X _{max}	X̄			
Общая длина тела <i>tl</i> , мм	6,00	11,05	8,10	1,07	13,16	150
Длина абдомена <i>al</i> , мм	2,60	6,45	4,03	0,73	18,05	150
Ширина абдомена <i>aw</i> , мм	0,25	0,50	0,37	0,05	13,65	150
Длина цефалоторакса <i>cl</i> , мм	3,00	4,90	3,75	0,40	10,66	150
Длина фурки <i>fl</i> , мм	0,10	0,57	0,32	0,08	25,47	150
Длина антенны I <i>la</i> , мм	0,55	1,85	1,03	0,26	24,70	150
Расстояние между глазами <i>de</i> , мм	0,75	2,25	1,55	0,26	16,84	150
Ширина головы <i>hw</i> , мм	0,50	1,30	0,80	0,13	15,94	150
Диаметр глаза <i>ed</i> , мм	0,20	0,51	0,35	0,06	18,13	150
Длина цефалоторакса к абдомену <i>cl/al</i>	0,64	1,37	0,95	0,13	14,06	150
Длина абдомена к длине тела <i>al/tl</i>	0,40	0,58	0,50	0,03	7,00	150
Длина фурки к абдомену <i>fl/al</i>	0,03	0,15	0,08	0,03	27,64	150
Кол-во щетинок на правой фурке <i>sf-r</i> , шт.	4,00	22,00	12,54	3,58	28,56	150
Кол-во щетинок на левой фурке <i>sf-l</i> , шт.	3,00	22,00	12,73	3,71	29,17	150

Примечание. X_{min} – минимальное значение, X_{max} – максимальное значение, X̄ – среднее значение, σ – стандартное отклонение, C_v – коэффициент корреляции.

Сравнительный анализ изменчивости морфометрических признаков половозрелых особей артемии позволил выявить особенности отдельных частей тела у самок и самцов. Такие показатели, как длина тела *tl*, цефалоторакса *cl*, длина *al* и ширина *aw* абдомена, отношение длины абдомена к длине тела *al/tl* были выше у самок. Самки вида *A. parthenogenetica* по тем же признакам крупнее, чем самки вида *Artemia* sp. Kazakhstan. Длина антенны I *la*, расстояние между глазами *de*, диаметр глаза *ed*, длина фурки *fl*, длина цефалоторакса к длине абдомена *cl/al*, длины фурки к длине абдомена *fl/al* преобладали у самцов. Количество щетинок на фуркальных ветвях *sf-r*, *sf-l* у самок было в 2 раза меньше, чем у самцов. Ширина головы *hw* у самок и самцов имела лишь незначительную разницу. Подобная разница наблюдается между самками двух видов. Вышеперечисленные признаки преобладали у самок вида *Artemia* sp. Kazakhstan.

По морфометрическим данным были построены гистограммы частотного распределения и определена нормальность по критерию Шапиро–Уилка. Все изученные признаки у половозрелых самок *A. parthenogenetica* имели непараметрическое распределение, 13 из которых обладали правосторонней асимметрией (рис. 2).

Все изученные признаки у половозрелых самок *Artemia* sp. Kazakhstan имели непараметрическое распределение, кроме отношения длины цефалоторакса к длине абдомена *cl/al* и отношения длины абдомена к длине тела *al/tl* (рис. 3).

Распределение изученных параметров у половозрелых самцов оказалось неоднозначным. Непараметрическое распределение было выявлено у длины тела *tl*, ширины абдомена *aw*, длины антенны *la*, длины головы *hw*, количества щетинок на правой фурке *sf-r*. Данные признаки также обладали правосторонней асимметрией. Остальные признаки имели нормальное распределение (рис. 4).

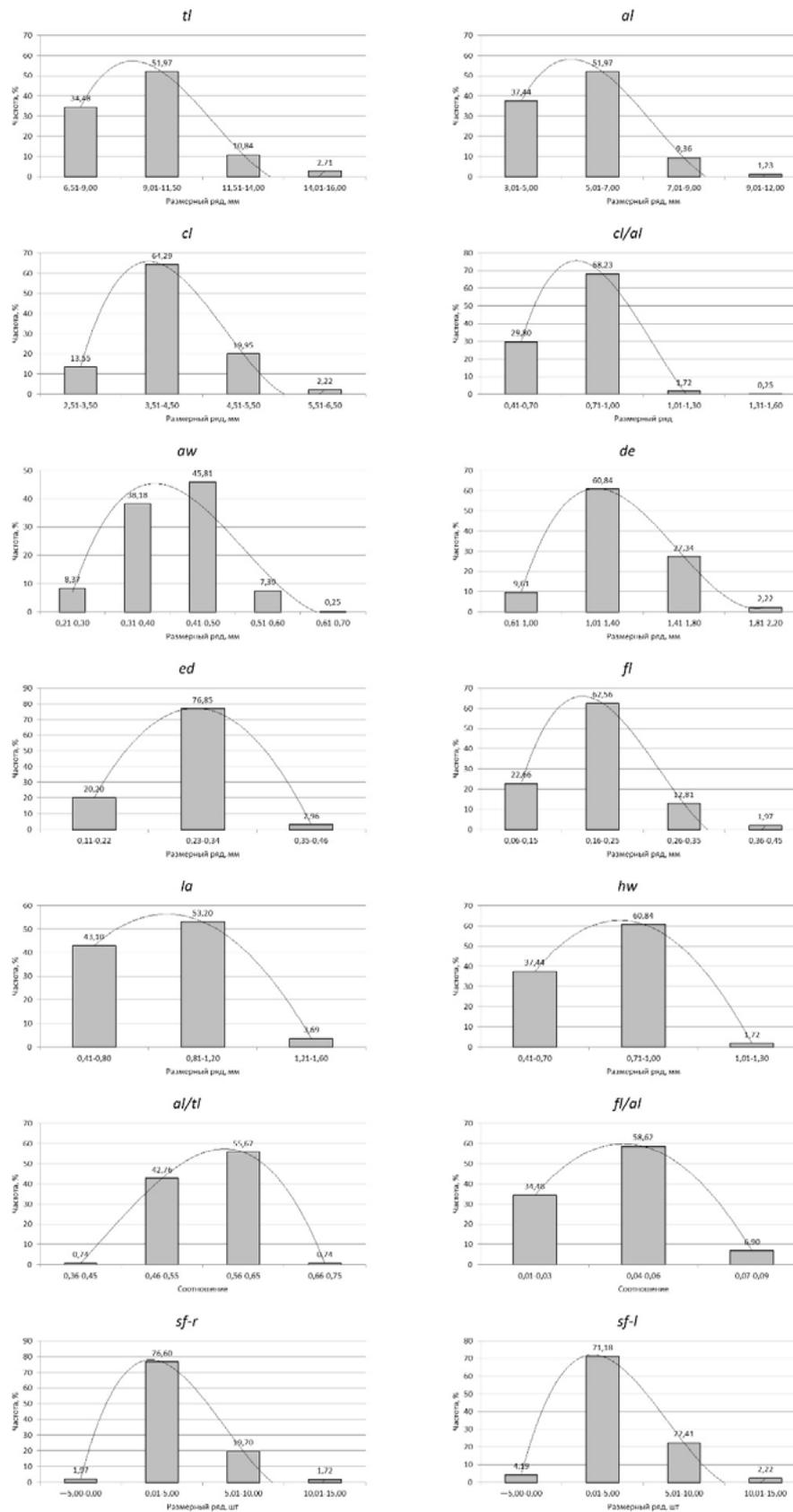


Рис. 2. Гистограммы распределения морфометрических показателей половозрелых самок *A. parthenogenetica* гипергалинных озер юга Западной Сибири
 Histograms of distribution of morphometric parameters of mature females of *A. parthenogenetica* in hypersaline lakes of the south of Western Siberia

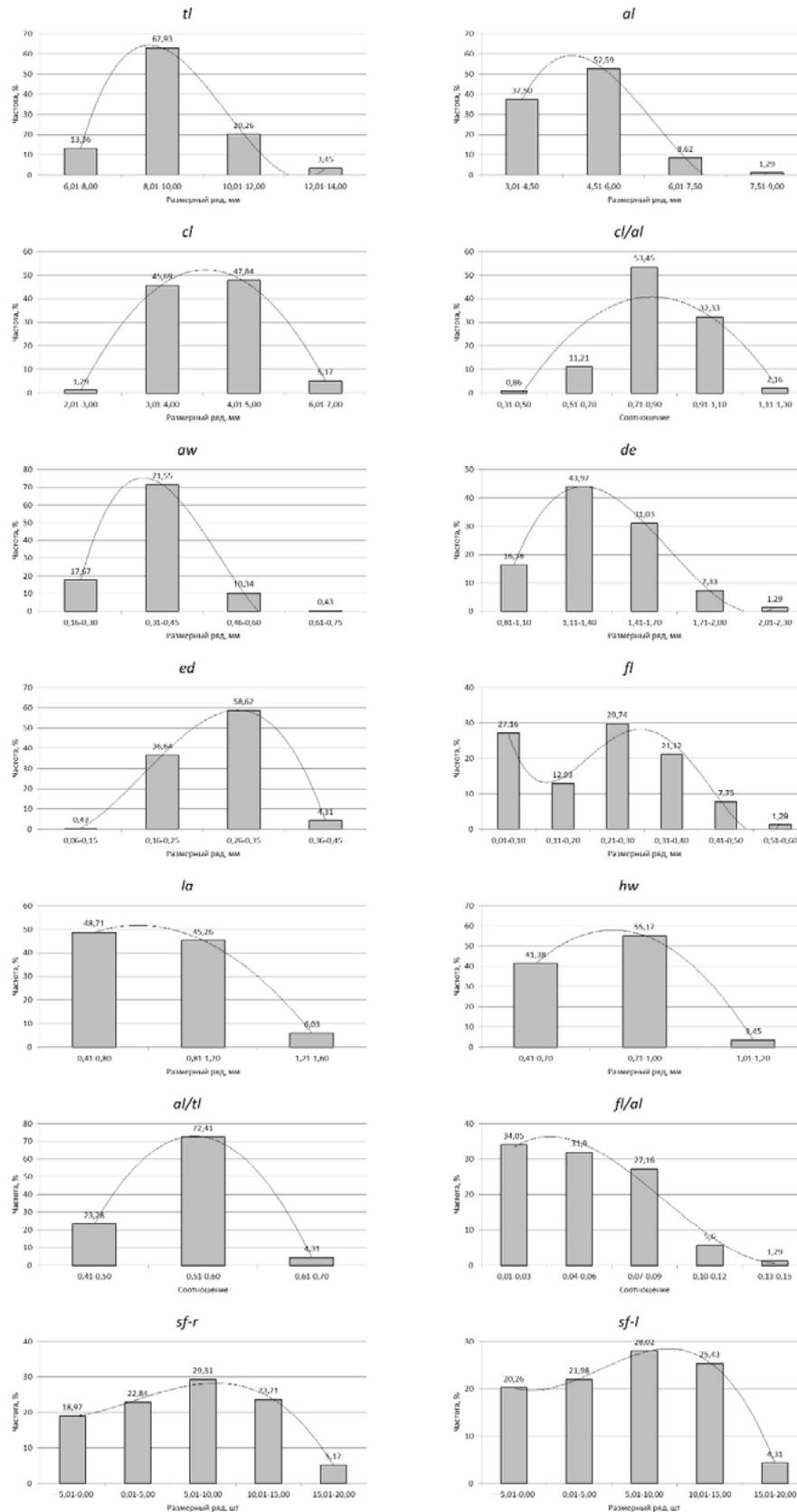


Рис. 3. Гистограммы распределения морфометрических показателей половозрелых самок *Artemia* sp. Kazakhstan гипергалинных озер юга Западной Сибири
 Histograms of distribution of morphometric parameters of mature females *Artemia* sp. Kazakhstan hyperhaline lakes of the south of Western Siberia

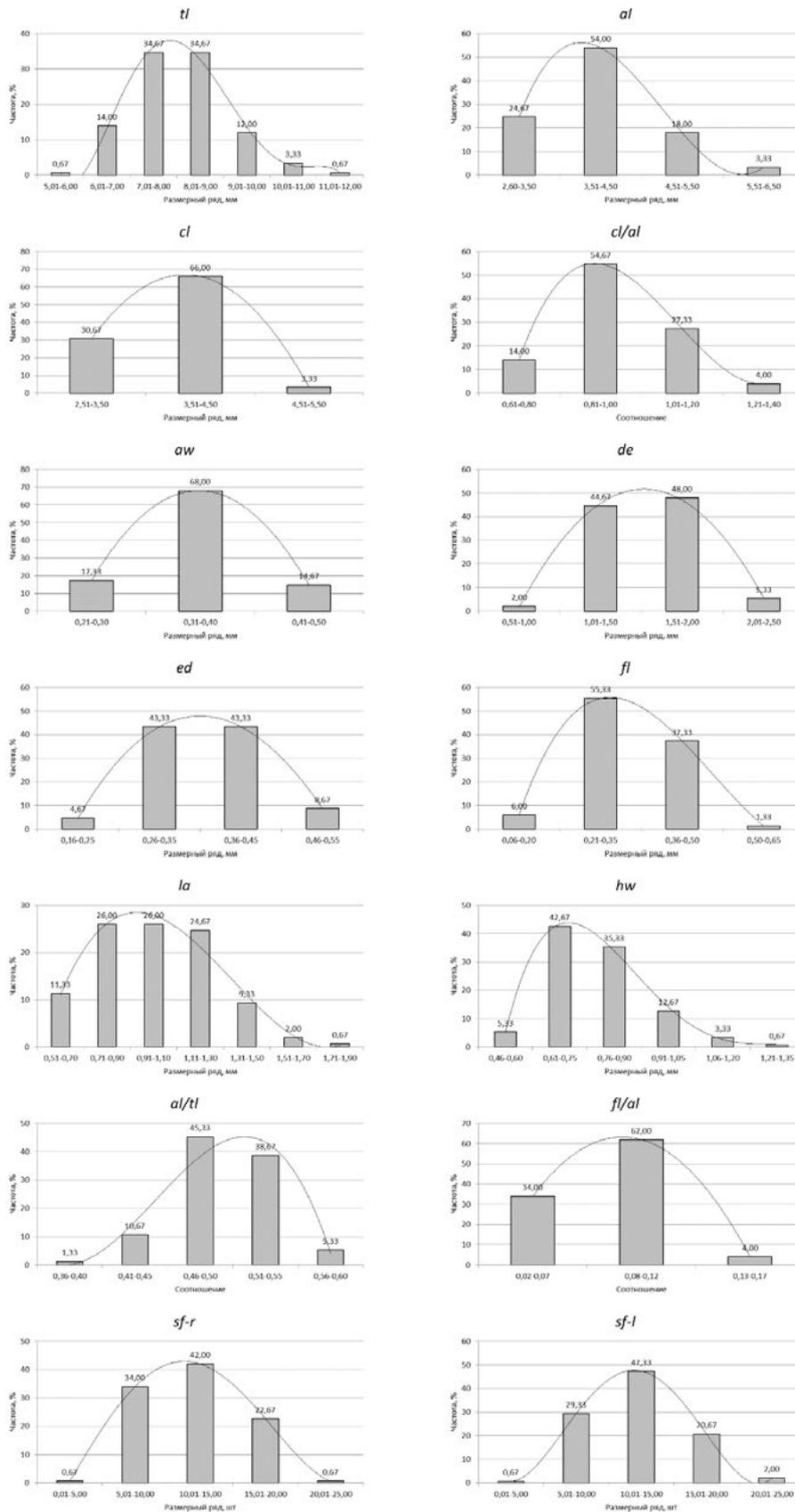


Рис. 4. Гистограммы распределения морфометрических показателей половозрелых самцов *Artemia* sp. Kazakhstan гипергалинных озер юга Западной Сибири

Histograms of distribution of morphometric parameters of mature males of *Artemia* sp. Kazakhstan hyperhaline lakes of the south of Western Siberia

Корреляционный анализ Спирмена признаков у самок *A. parthenogenetica* показал разную степень зависимости признаков. Длина тела находится в сильной положительной корреляции с длиной абдомена ($r = 0,93$; $p < 0,05$) и длиной цефалоторакса ($r = 0,84$; $p < 0,05$) (табл. 4). Сильная положительная связь также отмечена между

шириной головы и расстоянием между глазами ($r = 0,80$; $p < 0,05$), длиной фурки и индексом fl/al ($r = 0,82$; $p < 0,05$), количеством щетинок на правой и левой фурках ($r = 0,78$). Между индексами cl/al и al/tl наблюдается сильная отрицательная корреляция ($r = -0,99$).

Таблица 4

Корреляционная матрица морфометрических параметров самок *A. parthenogenetica* гипергалинных озер юга Западной Сибири
Correlation matrix for the morphometric parameters of the *A. parthenogenetica* females of the hypersaline lakes in the south of Western Siberia

	tl	al	cl	cl/al	aw	de	ed	fl	la	hw	sf-r	sf-l	al/tl	fl/al
tl	1													
al	0,93	1												
cl	0,84	0,64	1											
cl/al	-0,41	-0,67	0,06	1										
aw	0,42	0,32	0,48	0,03	1									
de	0,65	0,53	0,68	-0,06	0,51	1								
ed	0,61	0,5	0,63	-0,09	0,42	0,63	1							
fl	0,13	0,04	0,13	0,11	0,15	0,17	0,23	1						
la	0,56	0,47	0,55	-0,10	0,39	0,59	0,46	0,19	1					
hw	0,59	0,49	0,63	-0,07	0,55	0,80	0,58	0,12	0,51	1				
sf-r	0,07	0,02	0,09	0,08	0,15	0,19	0,18	0,46	0,16	0,18	1			
sf-l	0,08	0,03	0,08	0,07	0,11	0,18	0,21	0,44	0,18	0,14	0,78	1		
al/tl	0,41	0,68	-0,03	-0,99	-0,02	0,06	0,08	-0,18	0,09	0,07	-0,12	-0,11	1	
fl/al	-0,37	-0,49	-0,23	0,46	-0,06	-0,15	-0,06	0,82	-0,10	-0,16	0,38	0,36	-0,53	1

Примечание. Полужирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции Спирмена ($p < 0,05$).

Такие же корреляционные связи выявлены у самок вида *Artemia* sp. Kazakhstan. Кроме того, обнаружена сильная положительная связь между расстоянием между глазами и диаметром глаза ($r = 0,73$; $p < 0,05$), длиной фурок и количе-

ством щетинок на правой/левой фурках ($r = 0,89$; $p < 0,05$) и количеством щетинок на правой/левой фурках и индексом fl/al ($r = 0,87/0,86$; $p < 0,05$) (табл. 5).

Таблица 5

Корреляционная матрица морфометрических параметров самок *Artemia* sp. Kazakhstan гипергалинных озер юга Западной Сибири
Correlation matrix for the morphometric parameters of the *Artemia* sp. Kazakhstan females of the hypersaline lakes in the south of Western Siberia

	tl	al	cl	cl/al	aw	de	ed	fl	la	hw	sf-r	sf-l	al/tl	fl/al
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
tl	1													
al	0,89	1												
cl	0,84	0,55	1											
cl/al	-0,23	-0,6	0,26	1										

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
aw	0,5	0,29	0,58	0,2	1									
de	0,56	0,38	0,61	0,09	0,56	1								
ed	0,56	0,38	0,61	0,11	0,54	0,73	1							
fl	0,3	0,06	0,37	0,27	0,5	0,43	0,39	1						
la	0,52	0,35	0,57	0,1	0,54	0,67	0,54	0,42	1					
hw	0,55	0,34	0,62	0,15	0,65	0,74	0,66	0,64	0,64	1				
sf-r	0,25	0,03	0,33	0,26	0,49	0,41	0,33	0,89	0,4	0,62	1			
sf-l	0,28	0,06	0,34	0,26	0,51	0,42	0,36	0,89	0,39	0,63	0,93	1		
al/tl	0,18	0,57	-0,28	-0,97	-0,28	-0,15	-0,16	-0,45	-0,16	-0,25	-0,43	-0,43	1	
fl/al	0,06	-0,2	0,21	0,43	0,39	0,31	0,26	0,96	0,3	0,53	0,87	0,86	-0,59	1

Примечание. Полужирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции Спирмена ($p < 0,05$).

Структура связей признаков самцов рачка артемии несколько отличалась от самок. Длина тела находилась в сильной положительной корреляции с длиной абдомена ($r = 0,94$; $p < 0,05$) и длиной цефалоторакса ($r = 0,84$; $p < 0,05$) (табл. 6). Сильная положительная связь также отмечена между длиной абдомена и индексом *al/tl* ($r = 0,78$; $p < 0,05$), расстоянием между глазами и диаметром глаз ($r = 0,80$; $p < 0,05$), шириной головы и расстоянием между глазами ($r = 0,70$;

$p < 0,05$), диаметром глаза и шириной головы ($r = 0,73$; $p < 0,05$) количеством щетинок на правой и левой фурках ($r = 0,86$; $p < 0,05$). Длина фурки сильно коррелировала с количеством щетинок на правой и левой фурках ($r = 0,70$ и $r = 0,71$; $p < 0,05$) и с индексом *fl/al* ($r = 0,76$; $p < 0,05$). Сильная отрицательная корреляция наблюдалась между длиной абдомена и индексом *cl/al* ($r = -0,78$; $p < 0,05$) и индексами *cl/al* и *al/tl* ($r = -0,98$; $p < 0,05$).

Таблица 6

Корреляционная матрица морфометрических параметров самцов *Artemia* sp. Kazakhstan гипергалинных озер юга Западной Сибири

Correlation matrix for the morphometric parameters of the *Artemia* sp. Kazakhstan males of the hypersaline lakes in the south of Western Siberia

	tl	al	cl	cl/al	aw	de	ed	fl	la	hw	sf-r	sf-l	al/tl	fl/al
tl	1													
al	0,94	1												
cl	0,84	0,64	1											
cl/al	-0,55	-0,78	-0,07	1										
aw	0,50	0,45	0,43	-0,27	1									
de	0,67	0,55	0,67	-0,20	0,45	1								
ed	0,68	0,57	0,65	-0,26	0,56	0,80	1							
fl	0,32	0,21	0,27	-0,04	0,30	0,46	0,52	1						
la	0,50	0,42	0,47	-0,18	0,38	0,60	0,56	0,36	1					
hw	0,63	0,55	0,58	-0,26	0,50	0,70	0,73	0,45	0,50	1				
sf-r	0,11	0,02	0,11	0,08	0,13	0,27	0,35	0,70	0,22	0,31	1			
sf-l	0,14	0,04	0,15	0,08	0,10	0,28	0,36	0,71	0,23	0,32	0,86	1		
al/tl	0,54	0,78	0,08	-0,98	0,24	0,17	0,21	-0,08	0,14	0,22	-0,18	-0,17	1	
fl/al	-0,29	-0,43	-0,17	0,46	-0,01	0,06	0,11	0,76	0,06	0,04	0,61	0,6	-0,57	1

Примечание. Полужирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции Спирмена ($p < 0,05$).

Кластерный анализ морфометрических показателей самок по среднесезонным значениям девяти пластических и пяти меристических признаков показал принадлежность популяций к трем группам, различающимся по минерализации рапы (рис. 5).

Отдельная группа образована популяцией артемии оз. Малое Шкло (рис. 5). Диапазон минерализации рапы в вегетационный период 2024 г. составил 90,00–120,00 г/л со средним показателем – 105,00±15,00 г/л и коэффициентом вариации 20,20 %.

Вторая группа объединила популяции артемии озер Малое Яровое и Малиновое с диапазоном минерализации рапы от 146,00 до 160,00 г/л, средним показателем 151,75±2,95 г/л и коэффициентом вариации 3,89 %. Третья группа образована популяциями артемии озер Мормышанское, Большое Яровое, Кучукское, Танатар III, Кулундинское. Диапазон минерализации рапы составил 70,00–240,0 г/л со средним значением 132,79±14,97 г/л и коэффициентом вариации 42,19 %.

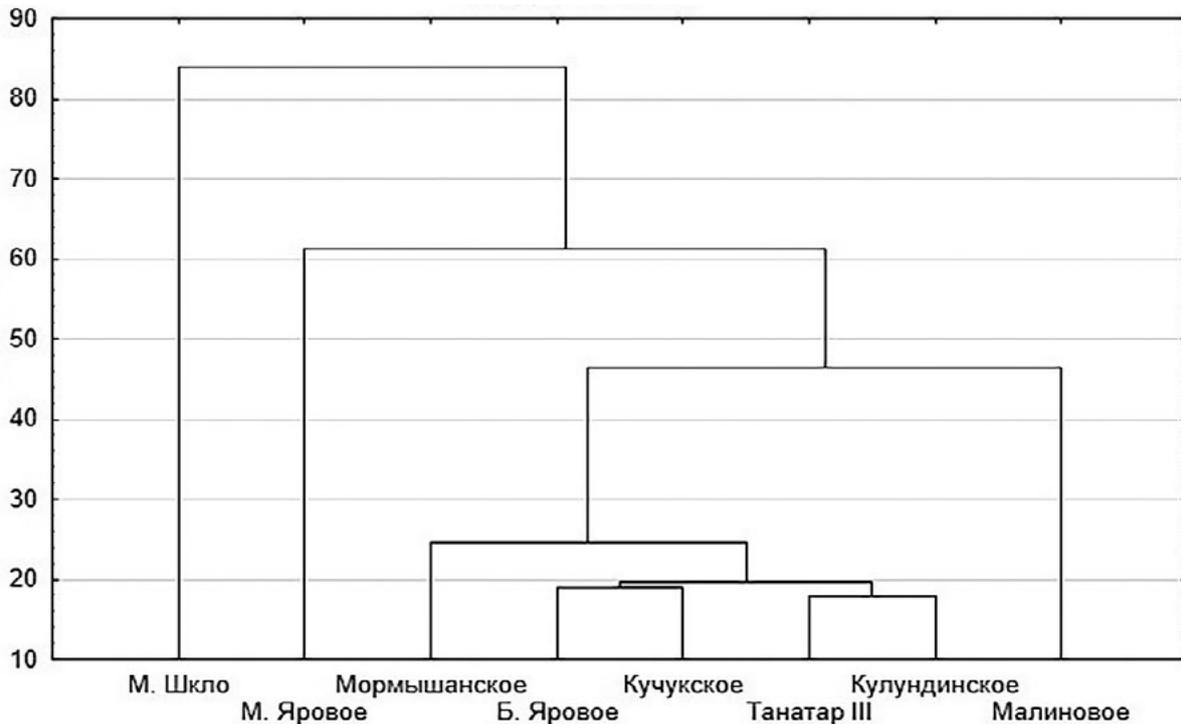


Рис. 5. Дендрограмма сходства морфометрических показателей самок исследованных популяций артемии гипергалинных озер юга Западной Сибири (метод одиночной связи)

Dendrogram of similarity of morphometric parameters of females of the studied Artemia populations of hyperhaline lakes in the south of Western Siberia (single linkage method)

Таким образом, выявлена закономерность влияния минерализации рапы разнотипных озер юга Западной Сибири как основного морфообразующего фактора на рост и развитие жаброногого рачка артемии партеногенетических и бисексуальных популяций. Подобное влияние на морфометрические признаки отмечено для популяций гипергалинных водоемов Западной Сибири [31] и Туниса [32].

Сильнее всего на изменение минерализации реагируют фуркальные показатели самок и самцов артемии. Длина фурок f_l и количество щетинок на фурках sf самок партеногенетических популяций значительно отличаются от бисексуальных (рис. 6). Внутри партеногенетических популяций

исследуемых озер лишь немногие отличаются между собой (Большое Яровое, Кулундинское, Малиновое, Малое Яровое, Мормышанское), в то время как среди бисексуальных популяций выявлена большая разница (Кучукское, Малое Шкло, Танатар III). Самые длинные фурки среди партеногенетических популяций выявлены у самок из озер Кулундинское, Малиновое и Малое Яровое; среди бисексуальных популяций – из озера Танатар III. Самые короткие фурки имеются у самок из озер Большое Яровое и Кучукское. По количеству щетинок на фурках наблюдается схожая закономерность, за исключением самок из оз. Малое Яровое.

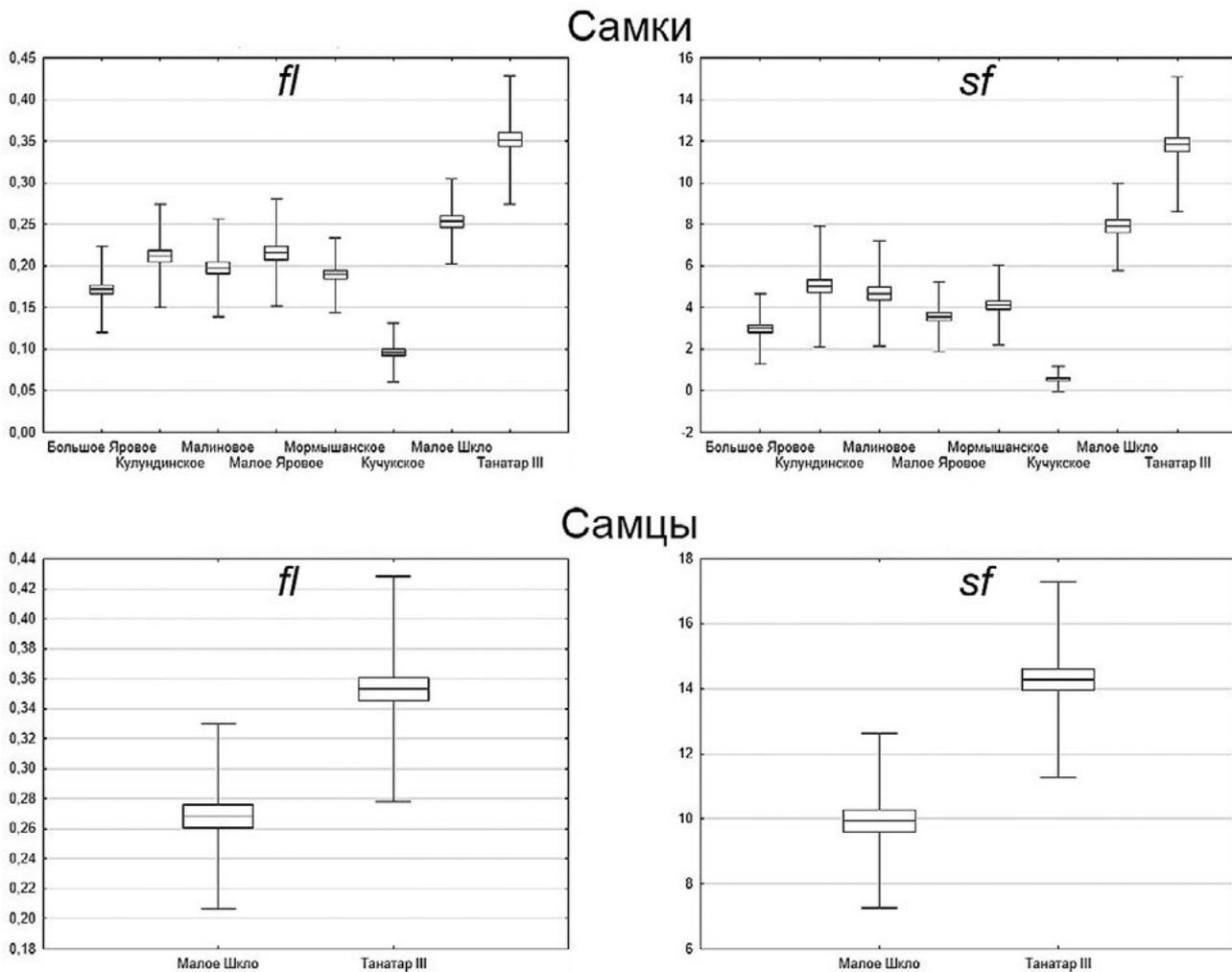


Рис. 6. Сравнение морфометрических показателей самок и самцов *A. parthenogenetica* и *Artemia* sp. Kazakhstan разнотипных гипергалинных озер

Comparison of morphometric parameters of females and males of *A. parthenogenetica* and *Artemia* sp. Kazakhstan of different types of hypersaline lakes

Длина фурок *fl* и количество щетинок на фурках *sf* самцов бисексуальных популяций значительно отличаются между собой в озерах Малое Шкло и Танатар III. По обоим морфометрическим показателям самцы озера Танатар III значительно превышают таковых из озера Малое Шкло.

Изученные морфометрические показатели самок рачка *A. parthenogenetica* характеризовались различной корреляционной связью с минерализацией разнотипных озер. Длина тела *tl* ($r = 0,35$; $p < 0,05$), длина абдомена *al* ($r = 0,33$; $p < 0,05$), длина цефалоторакса *cl* ($r = 0,33$; $p < 0,05$), расстояние между глазами ($r = 0,20$; $p < 0,05$), диаметр глаза *ed* ($r = 0,24$; $p < 0,05$), длина антенны *la* ($r = 0,21$; $p < 0,05$) и индекс длины абдомена к длине тела *al/tl* ($r = 0,16$; $p < 0,05$) имели слабую положительную связь. Индекс длины цефалоторакса к длине абдомену *cl/al*

($r = -0,26$; $p < 0,05$), количество щетинок на правой и левой фурках *sf-r/sf-l* ($r = -0,11/-0,11$; $p < 0,05$), индекс длины фурки к длине абдомена *fl/al* ($r = -0,20$; $p < 0,05$) – слабую отрицательную связь. Средних и сильных связей у рачка данного вида не выявлено.

Морфометрические показатели самок рачка *Artemia* sp. Kazakhstan, в отличие от партеногенетических популяций, коррелируют с минерализацией рапы в основном отрицательно. Положительная связь выявлена у индекса длины абдомена к длине тела *al/tl* ($r = 0,34$; $p < 0,05$). Самые сильные связи (средние отрицательные) наблюдаются у длины фурки *fl* ($r = -0,62$; $p < 0,05$); зависимость имела вид $y = -11,514x + 225,42$, количество щетинок на правой и левой фурках *sf-r/sf-l* ($r = -0,65$; $p < 0,05$); $y = -11,584x + 225,68$, индекс длины фурок к длине абдомена *fl/al*

($r = -0,66$; $p < 0,05$); $y = -2162,7x + 253,96$. Таким образом, самки бисексуальных популяций лучше коррелируют с минерализацией, чем самки партеногенетических популяций.

Корреляционные связи морфометрических показателей самцов рачка *Artemia* sp. Kazakhstan с минерализацией рапы значительно отличались от таковых у самок. Длина тела tl ($r = 0,36$; $p < 0,05$) и длина абдомена al ($r = 0,32$; $p < 0,05$) по-прежнему слабо положительно связаны с минерализацией рапы, но несколько выше, чем эти признаки у самок. Связь индекса длины цефалоторакса к длине абдомена cl/al ($r = -0,19$; $p < 0,05$) почти не изменилась (у самок $r = -0,16$; $p < 0,05$). Ширина абдомена aw ($r = 0,29$; $p < 0,05$) и ширина головы hw ($r = 0,38$; $p < 0,05$) у самцов имели слабую положительную связь (у самок эти связи были отрицательными $r = -0,29$ ($p < 0,05$) / $r = -0,38$ ($p < 0,05$)). Самые сильные корреляционные связи по-прежнему были у фуркальных показателей, которые у самцов стали положительными: длина фурук fl ($r = 0,53$ ($p < 0,05$); зависимость имела вид: $y = 213,27x + 14,396$, количество щетинок на правой $sf-r$ ($r = 0,61$ ($p < 0,05$); $y = 5,6477x + 11,658$ и левой фуруках $sf-l$ ($r = 0,61$, $p < 0,05$); $y = 5,4562x + 13,004$. Индекс длины фурук к длине абдомена fl/al ($r = 0,27$, $p < 0,05$); $y = 418,87x + 48,567$ у самцов имел слабую связь с минерализацией, в отличие от самок.

Также среди корреляционных связей морфометрических показателей самцов с минерализацией рапы были выявлены новые, которых не было у самок. Слабые связи: длина антенны la ($r = 0,35$; $p < 0,05$). Средние связи: расстояние между глазами de ($r = 0,43$; $p < 0,05$); зависимость имела вид: $y = 53,659x - 0,8697$), ed ($r = 0,45$; $p < 0,05$); $y = 239,14x - 2,3575$. Связи с индексом длины абдомена к длине тела al/tl у самцов выявлено не было.

ВЫВОДЫ

1. Морфометрический анализ восьми популяций артемии показал, что наиболее вариabельными признаками являются фуркальные параметры: длина фуруки fl (у самок $C_v = 43,69$ %, у самцов $C_v = 25,47$), количество щетинок на правой $sf-r$ и левой фуруках $sf-l$ (у самок $C_v = 79,86$ %; $81,21$ %, у самцов $C_v = 28,56$ %; $29,17$ %) и отношение длины фуруки к длине абдомена fl/al (у самок $C_v = 49,99$ %, у самцов $C_v = 27,64$ %). Наиболее стабильные признаки ($C_v < 20$ %) у самок – tl , aw , cl , de , hw , ed , cl/al , al/tl ; у самцов – tl , al , aw , cl , de ,

hw , ed , cl/al , al/tl . Морфометрические показатели самок гораздо более пластичные и вариabельные, чем у самцов. Самки бисексуальных популяций характеризовались большей вариabельностью, чем самки партеногенетических популяций.

2. Сравнение изменчивости морфометрических показателей самок и самцов рачка артемии показал различия между ними. Длина тела tl , цефалоторакса cl , длина al и ширина aw абдомена, отношение длины абдомена к длине тела al/tl были выше у самок. Длина антенны I la , расстояние между глазами de , диаметр глаза ed , длина фуруки fl , длина цефалоторакса к длине абдомена cl/al , длины фуруки к длине абдомена fl/al преобладали у самцов. Количество щетинок на фурукальных ветвях $sf-r$, $sf-l$ у самок было в два раза меньше, чем у самцов. Ширина головы hw у самок и самцов имела лишь незначительную разницу. В целом самки имеют более крупные размеры по сравнению с самцами. Самки партеногенетических популяций крупнее, чем самки бисексуальных популяций.

3. Кластерный анализ позволил определить принадлежность исследованных озер к трем группам, различающимся по степени минерализации рапы. В полученных результатах прослеживается влияние общей минерализации рапы озер как основного морфообразующего фактора на рост и развитие рачка артемии.

4. Корреляционный анализ связей морфометрических показателей от общей минерализации рапы озер (от 41,2 до 251,4 г/л) позволил выявить влияние данного фактора на рост и развитие рачка артемии. Средними по силе связями характеризовались фуркальные показатели самок и самцов. fl самок: $r = -0,54$ ($p < 0,05$); зависимость имела вид: $y = -337,79x + 207,38$ (отрицательная), fl самцов: $r = 0,53$ ($p < 0,05$); $y = 213,27x + 14,396$ (положительная). Средними положительными связями у самцов характеризовались de ($r = 0,43$; $p < 0,05$); $y = 53,659x - 0,8697$) и ed ($r = 0,45$; $p < 0,05$); $y = 239,14x - 2,3575$). Остальные признаки слабо коррелируют с общей минерализацией рапы. Самцы подвержены большему влиянию солености, чем самки. Самки партеногенетических популяций коррелируют с минерализацией рапы слабее, чем самки бисексуальных популяций.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №25-26-00148).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Manual on Artemia production and use* / G. Van Stappen, P. Sorgeloos, G. Rombaut [et al.] // FAO Fisheries and Aquaculture Technical Papers. – 2024. – N 702. – 192 p. – DOI: 10.4060/cd0313en.
2. *Продуктивность цист рачка Artemia Leach, 1819 в гипергалинных озерах Алтайского края* / Л.В. Веснина, Р.А. Клепиков, Е.В. Пищенко, И.В. Морузи. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой Колос», 2021. – 147 с.
3. *Status and recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil* / A.B. Nobile, A.M. Cunico, J.R. Vitule [et al.] // Rev. Aquacult. – 2020. – Vol. 12, N 3. – P. 1495–1517. – DOI: 10.1111/raq.12393.
4. *Aquaculture facilities drive the introduction and establishment of non-native Oreochromis niloticus populations in Neotropical streams* / S.C. Forneck, F.M. Dutra, M.P. de Camargo [et al.] // Hydrobiologia. – 2021. – Vol. 848, N 9. – P. 1955–1966. – DOI: 10.1007/s10750-020-04430-8.
5. *Review on integrated production of the brine shrimp Artemia in solar salt ponds* / G. Van Stappen, L. Sui, V.N. Hoa [et al.] // Rev. Aquacult. – 2020. – Vol. 12, N 2. – P. 1054–1071. – DOI: 10.1111/raq.12371.
6. *Morphology and morphometry of morphotypes in the population of Artemia franciscana (Kellogg, 1906) from salt-erns of the southeastern coast of India* / S. Thirunavukkarasu, G. Murugan, J.-S. Hwang, N. Munuswamy // Heliyon. – 2024. – Vol. 10, N 1. – P. 1–13. – DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e29796.
7. *Thirunavukkarasu S., Karunasagaran G., Munuswamy N. Genetic variability of Artemia franciscana populations from different salterns of southeast coast of India* // Human Gene. – 2021. – N 28. – P. 100887. – DOI: 10.1016/j.mgene.2021.100887.
8. *Thirunavukkarasu S., Karunasagaran G., Munuswamy N. Morphometric and phylogenetic analysis of morphotypes in Artemia franciscana Kellogg, 1906m (Crustacea: Anostraca)* // Reg Stud Mar Sci. – 2022. – N 54. – P. 102411. – DOI: 10.1016/j.rsma.2022.102411.
9. *Thirunavukkarasu S., Karunasagaran G., Munuswamy N. Genetic diversity and population structure of Artemia franciscana from southeast coast of India* // J. Sea Res. – 2021. – N 178. – P. 102127. – DOI: 10.1016/j.seares.2021.102127.
10. *Ruebhart D.R., Cock I.E., Shaw G.R. Invasive character of the brine shrimp Artemia franciscana Kellogg 1906 (Branchiopoda: Anostraca) and its potential impact on Australian inland hypersaline waters* // Mar. Freshw. Res. – 2008. – Vol. 59, N 7. – P. 587–595. – DOI: 10.1071/MF07221.
11. *Maniatsi S., Baxevanis A.D., Abatzopoulos T.J. The intron 2 of p26 gene: a novel genetic marker for discriminating the two most commercially important Artemia franciscana subspecies* // J. Biol. Res. (Thessalon.). – 2009. – N 11. – P. 73–82. – DOI: 10.3390/ijms10125455.
12. *Жадин В.И. Методы гидробиологического исследования.* – М.: Высш. шк., 1960. – 191 с.
13. *Kress W., Erickson D. DNA Barcodes: Methods and Protocols, Methods in Molecular Biology.* – 2012. – Vol. 858. – P. 3–8.
14. *Asem A., Rastegar-Pouyani N., Ríos-Escalante P.D.L. The genus Artemia Leach, 1819 (Crustacea: Branchiopoda). I. True and false taxonomical descriptions* // Lat. Am. J. Aquat. Res. – 2010. – Vol. 38, N 3. – P. 501–506. – DOI: 10.3856/vol38-issue3-fulltext-14.
15. *DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates* / O. Folmer, M. Black, W. Hoeh [et al.] // Molecular Marine Biology and Biotechnology. – 1994. – Vol. 3, N 5, P. 294–299.
16. *Лакин Г.Ф. Биометрия: учебное пособие.* – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
17. *Веснина Л.В., Веснин Ю.А. Современное состояние зоопланктона озера Кулундинское Алтайского края в период фазы трансгрессии* // Инновации и продовольственная безопасность. – 2022. – № 3(37). – С. 20–35.
18. *Роль солоноватоводной фауны и состояние биоресурса экосистемы гипергалинного озера Кулундинское в фазе трансгрессии (Алтайский край)* / Л.В. Веснина, Ю.А. Веснин, Н.С. Романова, И.В. Морузи // Рыбное хозяйство. – 2023. – № 2. – С. 65–72.
19. *Vesnina L.V., Bezmaternykh D.M. Long-term and seasonal dynamics of zooplankton in hypergaline lake Kulundinskoye (Kulunda Steppe, Russia)* // Acta Biologica Sibirica. – 2023. – Vol. 9. – P. 387–396. – DOI: 10.5281/zenodo.7927562.
20. *Веснина Л.В., Безматерных Д.М. Влияние факторов окружающей среды на динамику зоопланктона соленого озера Кулундинское (Западная Сибирь)* // Экология. – 2023. – № 3. – С. 235–242. – DOI: 10.31857/S0367059723030095.
21. *Алтайские стартовые корма: вчера, сегодня, завтра* / Л.В. Веснина, Т.О. Ронжина, Г.В. Пермякова, Р.А. Клепиков // Аквакультура центральной и восточной Европы: настоящее и будущее: сб. докл. – Кишинев: Pontos, 2011. – С. 48–53.
22. *Котова Л.И., Иванов А.Т. Заготовка и использование артемии* // Рыбное хозяйство. – 1969. – № 4. – С. 92–93.
23. *Результаты многолетних исследований и практического использования промысловых беспозвоночных Западной Сибири* / А.И. Литвиненко, Л.И. Литвиненко, В.П. Соловов // Проблемы гидробиологии Сибири: мат-лы Всерос. конф. «Современные проблемы гидробиологии Сибири» / под ред. В.И. Романова. — Томск: Дельтаплан, 2005. – С. 146–164.

24. Студеникина Т.Л. Биологические особенности рачка *Artemia salina* (L.) соленых озер юга Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 1986. – 17 с.
25. *Артемия* в гипергалинных водоемах России (география, биоразнообразие, экология, биология и практическое использование) / Л.И. Литвиненко, М.А. Корентович, Е.Г. Бойко [и др.]. – Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2024. – 372 с.
26. *Sturgeon farming in Western Europe: recent developments and perspectives* / P. Williot, L. Sabeaub, J. Gessner [et al.] // *Aquat. Living Resour.* – 2001. – Vol. 14. – P. 363–374.
27. Богатова И.Б., Шмакова З.И. Активация диапаузирующих яиц *Artemia salina* (L.) // *Гидробиол. журн.* – 1980. – Т. 16, Вып. 3. – С. 180.
28. *Технология* получения стартовых кормов из артемии соленых озер Алтайского края / Л.В. Веснина, Т.О. Ронжина, Г.В. Пермякова, Р.А. Клепиков // *Рыбоводство и рыбное хозяйство.* – 2012. – № 3. – С. 52–59.
29. *Сравнительный анализ* популяции жаброногого рачка рода *Artemia* в гипергалинных озерах Крыма по морфометрическим признакам / А.М. Семик, Е.А. Замятина, А.В. Паршин-Чудин, Д.В. Тырин // *Рыбоводство и рыбное хозяйство.* – 2024. – № 12. – С. 862–875. – DOI: 10.33920/sel-09-2412-03.
30. Бойко Е.Г., Литвиненко Л.И., Воронцова П.И. Морфометрическая характеристика половозрелых самок артемии из озера Эбейты Омской области в разные вегетационные сезоны // *АПК: инновационные технологии.* – 2022. – № 2(57). – С. 11–19. – DOI: 10.35524/2687-0436_2022_02_11.
31. Naceur H.B., Rejeb Jenhani A.B., Romdhane M.S. Morphometric Characterization of Adult *Artemia* (Crustacea: Branchiopoda) Populations from Coastal and Inland Tunisian Salt Lakes // *African Invertebrates.* – 2013. – Vol. 54, N 2. – P. 543–555.

REFERENCES

1. Van Stappen G., Sorgeloos P., Rombaut G. et al., *Manual on Artemia production and use, FAO Fisheries and Aquaculture Technical Papers*, 2024, No. 702, 192 p, DOI: 10.4060/cd0313en.
2. Vesnina L.V., Klepikov R.A., Pishhenko E.V., Moruzi I.V., *Produktivnost' cist rachka Artemia Leach, 1819 v giper-galinnih ozerah Altajskogo kraja* (Productivity of cysts of the crustacean *Artemia* Leach, 1819 in hypersaline lakes of Altai Krai), Novosibirsk: IC NGAU «Zolotoj Kolos», 2021, 137 p.
3. Nobile A.B., Cunico A.M., Vitule J.R., Queiroz J., Vidotto-Magnoni A.P., Garcia D.A. et al., Status and recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil, *Rev. Aquacult.*, 2020, Vol. 12, No. 3, pp. 1495–1517, DOI: 10.1111/raq.12393.
4. Forneck S.C., Dutra F.M., de Camargo M.P., Vitule J.R.S., Cunico A.M., Aquaculture facilities drive the introduction and establishment of non-native *Oreochromis niloticus* populations in Neotropical streams, *Hydrobiologia*, 2021, Vol. 848, No. 9, pp. 1955–1966, DOI: 10.1007/s10750-020-04430-8.
5. Van Stappen G., Sui L., Hoa V.N., Tamtin M., Nyonje B., de Medeiros Rocha R. et al., Review on integrated production of the brine shrimp *Artemia* in solar salt ponds, *Rev. Aquacult.*, 2020, Vol. 12, No. 2, pp. 1054–1071, DOI: 10.1111/raq.12371.
6. Thirunavukkarasu S., Murugan G., Hwang J.-S., Munuswamy N., Morphology and morphometry of morphotypes in the population of *Artemia franciscana* (Kellogg, 1906) from salterns of the southeastern coast of India, *Heliyon*, 2024, Vol. 10, No. 1, pp. 1–13, DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e29796.
7. Thirunavukkarasu S., Karunasagaran G., Munuswamy N., Genetic variability of *Artemia franciscana* populations from different salterns of southeast coast of India, *Human Gene*, 2021, No. 28, pp. 100887, DOI: 10.1016/j.mgene.2021.100887.
8. Thirunavukkarasu S., Karunasagaran G., Munuswamy N., Morphometric and phylogenetic analysis of morphotypes in *Artemia franciscana* Kellogg, 1906m (Crustacea: Anostraca), *Reg Stud Mar Sci*, 2022, No. 54, pp. 102411, DOI: 10.1016/j.risma.2022.102411.
9. Thirunavukkarasu S., Karunasagaran G., Munuswamy N., Genetic diversity and population structure of *Artemia franciscana* from southeast coast of India, *J. Sea Res*, 2021, No. 178, pp. 102127, DOI: 10.1016/j.seares.2021.102127.
10. Ruebhart D.R., Cock I.E., Shaw G.R., Invasive character of the brine shrimp *Artemia franciscana* Kellogg 1906 (Branchiopoda: Anostraca) and its potential impact on Australian inland hypersaline waters, *Mar. Freshw. Res.*, 2008, Vol. 59, No. 7, pp. 587–595, DOI: 1071/MF07221.
11. Maniatsi S., Baxevanis A.D., Abatzopoulos T.J., The intron 2 of p26 gene: a novel genetic marker for discriminating the two most commercially important *Artemia franciscana* subspecies, *J. Biol. Res. (Thessalon.)*, 2009, No. 11, pp. 73–82, DOI: 10.3390/ijms10125455.
12. Zhadin V.I., *Metody gidrobiologicheskogo issledovanija* (Methods of hydrobiological research), Moscow: Vysshaja shkola, 1960, 191 p.
13. Kress W., Erickson D., DNA Barcodes: Methods and Protocols, *Methods in Molecular Biology*, 2012, Vol. 858, pp. 3–8.

14. Asem A., Rastegar-Pouyani N., Ríos-Escalante P.D.L., The genus *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea: Branchiopoda). I. True and false taxonomical descriptions, *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 2010, Vol. 38, No. 3, pp. 501–506, DOI: 10.3856/vol38-issue3-fulltext-14.
15. Folmer O., Black M., Hoeh W., Lutz R. et al., DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates, *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 1994, Vol. 3, No. 5, pp. 294–299.
16. Lakin G.F., *Biometrija* (Biochemistry), Moscow: Vysshaja shkola, 1990, 352 p.
17. Vesnina L.V., Vesnin Ju.A., *Innovacii i prodovol'stvennaja bezopasnost'*, 2022, No. 3(37), pp. 20–35. (In Russ.)
18. Vesnina L.V., Vesnin Ju.A., Romanova N.S., Moruzi I.V., *Rybnoe hozjajstvo*, 2023, No. 2, pp. 65–72. (In Russ.)
19. Vesnina L.V., Bezmaternykh D.M., Long-term and seasonal dynamics of zooplankton in hypergaline lake Kulundinskoye (Kulunda Steppe, Russia), *Acta Biologica Sibirica*, 2023, Vol. 9, pp. 387–396, DOI: 10.5281/zenodo.7927562.
20. Vesnina L.V., Bezmaternykh D.M., *Ecology*, 2023, No. 3, pp. 243–250, DOI: 10.31857/S0367059723030095. (In Russ.)
21. Vesnina L.V., Ronzhina T.O., Permjakova G.V., Klepikov R.A., *Akvakul'tura central'noj i vostochnoj Evropy: nastojashhee i budushhee* (Aquaculture in central and eastern Europe: present and future), Abstracts of Papers, 2011, Kishinev: Pontos, pp. 48–53. (In Russ.)
22. Kotova L.I., Ivanov A.T., *Rybnoe hozjajstvo*, 1969, No. 4, pp. 92–93. (In Russ.)
23. Litvinenko A.I., Litvinenko L.I., Solovov V.P., Vesnina L.V., Jasjuchenja T.L., Vizer L.S., Kozlov O.V., *Sovremennye problemy gidrobiologii Sibiri* (Modern problems of hydrobiology of Siberia), Proceeding of the All-Russian Conference, Tomsk: Del'taplan, 2005, pp. 146–164. (In Russ.)
24. Studenikina T.L., Biologicheskie osobennosti rachka *Artemia salina* (L.) solenyh ozer juga Zapadnoj Sibiri (Biological features of the crustacean *Artemia salina* (L.) of salt lakes in the south of Western Siberia), Candidate's thesis, Novosibirsk, 1986, 17 p. (In Russ.)
25. Litvinenko L.I., Korentovich M.A., Bojko E.G., Litvinenko A.I., Zenkovich P.A., *Artemija v gipergalinnyh vodoemah Rossii (geografija, bioraznool'zovanie, jekologija, biologija i prakticheskoe ispol'zovanie)* (*Artemia* in hypersaline reservoirs of Russia (geography, biodiversity, ecology, biology and practical use)), Tjumen': GAU Severnogo Zaural'ja, 2024, 372 p. (In Russ.)
26. Williot, P., Sabeaub L., Gessner J. et al., Sturgeon farming in Western Europe: recent developments and perspectives, *Aquat. Living Resour.*, 2001, Vol. 14, pp. 363–374.
27. Bogatova I.B., Shmakova Z.I., *Gidrobiologicheskij zhurnal*, 1980, T. 16, Vol. 3, pp. 180. (In Russ.)
28. Vesnina L.V., Ronzhina T.O., Permjakova G.V., Klepikov R.A., *Rybovodstvo i rybnoe hozjajstvo*, 2012, No. 3, pp. 52–59. (In Russ.)
29. Sjomik A.M., Zamjatina E.A., Parshin-Chudin A.V., Tyrin D.V., *Rybovodstvo i rybnoe hozjajstvo*, 2024, No. 12, pp. 862–875, DOI: 10.33920/sel-09-2412-03. (In Russ.)
30. Bojko E.G., Litvinenko L.I., Voroncova P.I., *APK: innovacionnye tehnologii*, 2022, No. 2(57), pp. 11–19, DOI: 10.35524/2687-0436_2022_02_11. (In Russ.)
31. Naceur H.B., Rejeb Jenhani A.B., Romdhane M.S., Morphometric Characterization of Adult *Artemia* (Crustacea: Branchiopoda) Populations from Coastal and Inland Tunisian Salt Lakes, *African Invertebrates*, 2013, Vol. 54, No. 2, pp. 543–555.

Информация об авторах:

Л.В. Веснина, доктор биологических наук, профессор, старший научный сотрудник
 Д.М. Безматерных, доктор биологических наук, доцент, зам. директора по научной работе
 М.В. Лассый, лаборант
 Ю.А. Веснин, инженер

Contribution of the authors:

L.V. Vesnina, Doctor of Biological Sciences, Professor, Senior Scientist
 D.M. Bezmaternykh, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Scientific Work
 M.V. Lassyi, Laboratory assistant
 Yu.A. Vesnin, Engineer

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА САХАРА НА МАССУ И КАЧЕСТВО ПРОДУКТОВ ИЗ МЯКОТИ ПЛОДОВ БАОБАБА

Дауда Сампу, Мамадуба Бангура, Муктар Силла, Альфа Соу, Н'Фали Байо

Министерство высшего образования, научных исследований и инноваций, Конакри, Гвинея

E-mail: sampoudaouda@gmail.com (Гвинея)

Для цитирования: Влияние количества сахара на массу и качество продуктов из мякоти плодов баобаба / Дауда Сампу, Мамадуба Бангура, Муктар Силла, Альфа Соу, Н'Фали Байо // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 142–151. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-142-151.

Ключевые слова: баобаб, мякоть плодов, вода, сахарное печенье, витамин С.

Реферат. *Adansonia digitata*, баобаб, – гигантское дерево, листья, семена, мякоть плодов которого используют в пищу. Мякоть плодов баобаба содержит большое количество витамина С, кальция, калия, значительное количество витаминов группы В, аминокислот, а также антиоксидантов. Для ручного производства печенья из мякоти плодов баобаба используют несколько рецептур. Согласно традиционной рецептуре, к размельченной мякоти плодов баобаба добавляется вода и небольшое количество сахара. Все ингредиенты смешиваются до получения однородной массы, теста. Сформированные из теста кусочки сушат. Сахар является важным ингредиентом при изготовлении печенья из мякоти плодов баобаба, поскольку он влияет на текстуру, вкус и цвет печенья. Большее количество сахара может увеличить их массу и плотность, а также сделать печенье более мягким и нежным, поглощая влагу, создавая более влажную текстуру. Исследования проводились в Пертеги (PERTEGUI), в Конакри в рамках проекта по изучению и исследованию эндогенных технологий в Гвинее на базе секции агропродовольствия Пертеги (Projet d'Étude et de Recherche sur les Technologies Endogènes en Guinée dans la Section Agro-Alimentaire du PERTEGUI). С 30 января по 15 февраля 2023 г. было проведено исследование, состоявшее из трех повторяющихся этапов. В каждом этапе было использовано по три варианта рецептур производства печенья, отличающихся только количеством добавляемого в тесто сахара, 00 г, 500 г и 750 г соответственно. Далее были взяты образцы для проведения анализов: идентификации проб, физико-химического и микробиологического. Также был проведен статистический анализ. Результаты проведенных анализов показали, что чем больше сахара содержится в печенье, тем больше воды оно удерживает после сушки. Также было выяснено, что содержание аскорбиновой кислоты в образцах составляло 208 мг/100 г, что меньше, чем у других авторов (272 мг/100 г), но оставалось постоянным при увеличении показателя Вгix и уровня влажности. Кроме того, в образцах с содержанием сахара 500 г и 750 г отмечено наличие дрожжей и плесени порядка 2,67 КОЕ/г и 3,00 КОЕ/г соответственно, что ниже рекомендуемой нормы 10,00 КОЕ/г. Отсутствие сальмонелл в образцах свидетельствует о соблюдении правил гигиены в процессе производства.

INFLUENCE OF SUGAR QUANTITY ON THE MASS AND QUALITY OF PRODUCTS FROM BAOBAB FRUITS PULP

Dauda Sampou, Mamadouba Bangoura, Mouctar Sylla, Alpha Sow, N'Fali Bayo

Ministry of Higher Education, Research and Innovation, Conakry, Guinea

E-mail: sampoudaouda@gmail.com (Guinea)

Keywords: baobab, fruit pulp, water, sugar cookies, vitamin C.

Abstract. *Adansonia digitata*, the baobab, is a giant tree whose leaves, seeds, and fruit pulp are used as food. Baobab fruit pulp contains a large amount of vitamin C, calcium, potassium, a significant amount of B vitamins, amino acids, and antioxidants. There are several recipes used to hand-make baobab pulp cookies. According to the traditional recipe, water and a small amount of sugar are added to the crushed baobab pulp. All ingredients are mixed until a homogeneous mass, dough, is obtained. The pieces formed from the dough are dried. Sugar is an important ingredient in the production of baobab pulp cookies, as it affects the texture, taste, and color of the cookies. More sugar can increase their weight and density, as well as make the cookies softer and more tender by absorbing moisture, creating a more moist texture. The research was carried out in Perteguy (PERTEGUI), in

Conakry, as part of the Project for the Study and Research of Endogenous Technologies in Guinea at the Perteguy Agro-Food Section (Projet d'Étude et de Recherche sur les Technologies Endogènes en Guinea dans la Section Agro-Alimentaire du PERTEGUI). From January 30 to February 15, 2023, the study was carried out, consisting of 3 repeated stages. In each stage, three variants of cookie production recipes were used, differing only in the amount of sugar added to the dough, 00 g, 500 g and 750 g, respectively. Then, samples were taken for analysis: sample identification, physicochemical and microbiological. A statistical analysis was also carried out. The results of the analyses showed that the more sugar contained in the cookies, the more water they retain after drying. It was also found that the ascorbic acid content in the samples was 208 mg/100 g, which is lower than that of other authors (272 mg/100 g), but remained constant with increasing Brix and humidity levels. In addition, in samples with a sugar content of 500 g and 750 g, the presence of yeast and mold was noted at about 2.67 CFU/g and 3.00 CFU/g, respectively, which is lower than the recommended norm of 10.00 CFU/g. The absence of salmonella in the samples indicates compliance with hygiene rules during the production process.

Adansonia digitata, баобаб, – огромное дерево, способное жить веками. Все части баобаба используются человеком. Так, листья добавляют в салаты, используют как специи, варят из них суп. Зажаренные и измельченные семена используют как заменитель кофе. Высушенную и измельченную мякоть плода разводят в воде и употребляют как прохладительный напиток, а также ее можно добавлять в йогурты или фруктовые соки.

Баобаб, прозванный деревом долголетия, обладает всеми качествами суперпродукта. Его мякоть обладает антиоксидантными свойствами, содержит в шесть раз больше витамина С, чем апельсин, и в два раза больше кальция, чем 200 мл молока. По мнению нутрициолога и диетолога Флоренс Фуко [1], продаваемая в Европе с 2008 г. мякоть плодов баобаба, этот чудо-ингредиент, уже завоевала популярность среди англичан.

Результаты исследований показывают, что высушенная и измельченная мякоть плодов баобаба содержит в 6 раз больше витамина С, чем апельсин и в 3 раза больше, чем киви (280 мг на 100 г порошка). Также в мякоти плодов баобаба содержится в 6 раз больше калия, чем в бананах,

а ее антиоксидантные свойства в 10 раз выше, чем у ягод годжи. И все это при энергетической ценности 162 ккал на 100 г, включая 1 г липидов и 42 г углеводов. Порошок мякоти широко использовался в Африке, Индии, Шри-Ланке и Антильских островах для лечения людей с лихорадкой. Фактически было доказано, что при употреблении порошка повышенная температура тела снижается на 1,94 °С, т.е. оказывается эффект, аналогичный эффекту действия аспирина.

Пищевая ценность мякоти плодов баобаба основана на высоком содержании в ней кальция, витамина С и клетчатки (табл. 1). Она также содержит значительное количество витаминов группы В (тиамин В₁, рибофлавин В₂ или ниацин В₃) и аминокислот. Мякоть считается тонизирующим средством для всех: детей, пожилых людей, спортсменов и особенно рекомендуется для поддержания физической формы и жизненных сил. Порошок из мякоти баобаба также является высококачественным пребиотиком (улучшает кишечную флору) благодаря высокому содержанию клетчатки [2, 3].

Таблица 1

Пищевая ценность мякоти плодов баобаба
Nutritional value of baobab fruit pulp

Элементы пищевой ценности	Пищевая ценность, на 100 г	Рекомендуемая суточная норма, %
Калорийность	175 ккал / 732 кДж	
Белки	3 г	
Углеводы	37 г	
Жиры	> 1 г	
Кальций	300 мг	30
Витамин С	295 мг	300
Всего клетчатки растворимой	44 г 22 г	150

Порошок из мякоти плодов баобаба в сочетании с определенным количеством сахара и воды можно использовать в технологии производства печенья. Кроме того, необходимо добавлять определенное количество сахара, поскольку слишком низкий уровень углеводов в организме соответствует гипогликемии, а слишком высокий уровень способствует развитию гипергликемии. Сахар является важным ингредиентом при изготовлении печенья из мякоти плодов баобаба, поскольку он влияет на текстуру, вкус и цвет печенья. Так, увеличение количества сахара в рецептуре может привести увеличению массы и плотности печенья, поскольку сахар способствует образованию прочных связей между ингредиентами теста. В то же время большее количество сахара может сделать печенье более мягким и нежным, удерживая большее количество воды, тем самым создавая более влажную текстуру.

Глюкоза является основным «топливом» для всех клеток организма, особенно мозга и мышц. Она необходима для поддержания умственной деятельности, физической активности и нормального функционирования органов.

Недостаток глюкозы в крови способствует нарушению функции мозга. Тем не менее большая часть постоянной энергии, необходимой организму, обеспечивается жирными кислотами. При метаболизме глюкозы высвобождается 4,1 ккал, или 17 кДж/г. Часть калорий, выделяемых на клеточную активность или мышечную работу, появляется в виде тепла, что способствует поддержанию температуры тела.

Употребление слишком большого количества сахара вызывает гипергликемию, которая является причиной многих заболеваний, в числе которых сердечно-сосудистые, заболевания сетчатки, почек, нервов, ожирение, а также диабет. Согласно данным ВОЗ (Всемирной организации здравоохранения), доза потребляемого сахара не должна превышать шесть чайных ложек в день. Однако следует отметить, что наибольшее привыкание вызывает очищенный сахар (рафинированный). Медленные сахара, поступающие из злаков и бобовых, необходимы для правильного функционирования нашего организма. Фактически, регулярное употребление сладких напитков или добавление сахара в кофе увеличивает количество свободных сахаров в организме [4].

Чрезмерное потребление слишком сладкой пищи вызывает ожирение, даже при условии сжигания сахара организмом для превращения его в энергию. В случае избытка организм сохра-

няет сахар для дальнейшего использования [5]. Учитывая вред, который избыток сахара может причинить человеку, необходимо при приготовлении сахарного печенья из мякоти плодов баобаба строго соблюдать дозировку сахара, рекомендованную в рецептуре.

Характеристика места проведения исследований

Исследования проводились в Пертеги (PERTEGUI), в Конакри – столице Гвинеи (Guinée).

Город Конакри (Conakry) расположен на полуострове Калум и острове Томбо в Атлантическом океане и граничит на востоке и юге с префектурой Койя, на севере с префектурой Дубрека. Климат Конакри (Conakry) тропический с сухим сезоном с декабря по апрель и сезоном дождей из-за африканского муссона, который длится примерно с середины мая до середины ноября. Дожди особенно часты и обильны в июле и августе, идут почти каждый день и за месяц выпадает более одного метра осадков [6].

В засушливые периоды может дуть харматан, сухой и пыльный ветер с Сахары. В Конакри средняя температура самого холодного месяца +26 °С, самого жаркого месяца (апреля) +28,7 °С. Осадков выпадает 3775 мм в год; поэтому их очень много. В наименее дождливые месяцы (январь, февраль) они составляют 1 мм, в наиболее дождливые месяцы (июль) – 1135 мм. Температура моря колеблется от +26,5 °С в марте до +28,5 °С в июне. В октябре, ноябре, декабре средняя температура моря +27,7 °С.

Пертеги (PERTEGUI) расположен в коммуне Матото, в рыночном районе Сангоя, секторе Кондея. Он находится в ведении Главного управления научных исследований и технологических инноваций (DEGERSIT) Министерства высшего образования, научных исследований и инноваций (MESRSI).

Примеры рецептов приготовления печенья из мякоти плодов баобаба

Изготовление печенья по стандартной технологии, согласно Мишелю де Валу (2020): мякоть плодов баобаба смешивают с водой и небольшим количеством сахара. Иногда в смесь добавляют имбирь, цедру лимона или арахисовую пасту. Готовую смесь делят на небольшие кусочки вытянутой формы и сушат. Печенье, приготовленное таким образом, имеет пикантный и сладковатый вкус. Обычно к этому печенью подают свежее молоко животного или растительного происхождения, а также местные напитки [7].

Ален Бреан (2014) [8] предлагает следующую рецептуру приготовления печенья из мякоти плодов баобаба с добавлением арахисовой пасты *Ваомих* [9].

Ингредиенты: 2 яйца, 11 г дрожжей, 60 г арахисовой пасты, 60 г топленого сливочного масла, 80 г муки, 50 г мякоти плодов баобаба *Ваомих*, 120 г сахара.

Этапы технологии производства печенья: смешивают муку, мякоть плодов, сахар и дрожжи до образования однородной массы; добавляют яйца, арахисовую пасту, топленое сливочное масло, тщательно перемешивают до однородной массы. Сформированные из теста изделия шарообразной формы выпекают при $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 12 мин.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования были проведены в рамках проекта по изучению и исследованию эндогенных технологий в Гвинее на базе секции агропродовольствия Пертеги (*Projet d'Étude et de Recherche sur les Technologies Endogènes en Guinée dans la*

Section Agro-Alimentaire du PERTEGUI) с 30 января по 15 февраля 2023 г.

Объектами исследований служили мякоть плодов баобаба, белый сахар, вода.

При проведении исследований использовали ступку, пестик, сито, электронные весы, рефрактометр, термометр, деревянную доску.

Для проведения трех этапов эксперимента (три повторения) с тремя вариациями в каждом, в Банко (префектура Дабола) были собраны спелые плоды баобаба, измельчены, высушены и разложены в 50-килограммовые мешки. Мешки были приобретены Пертеги (*PERTEGUI*) по 350 000 гвинейских франков за штуку. В дальнейшем содержимое каждого мешка раскладывали на циновках для дальнейшей сушки в течение пяти дней.

Производство мякоти плодов баобаба осуществлялось модифицированным методом [11]. Растительный материал получали путем измельчения плодов (стручков баобаба) с высвобождением зерен, покрытых мякотью (рисунок), затем освобождали их от мякоти умеренным растиранием в ступке пестиком с последующим просеиванием (сито с ячейками от 0,4 до 0,5 мм в диаметре).



Мякоть плода баобаба
Baobab fruit pulp

В среднем получали около 6 кг мякоти (на мешок), отделенной от зерен и лишенной волокон, также высушенной на солнце. Затем сухую

мякоть (600 г) смешивали с сертифицированной водой и сахаром, взвешивали. Полученное тесто разрезали на кусочки по 100 г, раскладывали на

деревянной поверхности (столешница) и накрывали черным целлофаном. Импровизированная сушилка выставлялась под палящее солнце в течение четырех дней по 6 ч 30 мин в день (с 9:00 до 15:30). Температура в такой сушилке была в среднем 39,5 °С. Полученный сухой продукт снова взвешивали в соответствии с экспериментом. Готовый продукт распределяли по упаковкам по 100 г и маркировали.

Образцы для дальнейших анализов были взяты в отделе «Пищевые технологии» Пертеги (La section de Technologies alimentaires du PERTEGUI) г. Конакри (Conakry) г-ном Бангура Мамадуба (Bangoura Mamadouba), доктором наук в области пищевых наук и технологий, под руководством г-на Траоре Мохамеда (Traore Mohamed), руководителя отдела. Интерпретацию экспериментов проводил г-н Сампу Дауда (Sampou Daouda), доктор сельскохозяйственных наук. Отобранные пробы были отправлены партиями по три пробы по повторяемости в научно-учебный центр «Отделение анализа качества» (Le Centre de Recherche et de Formation «UNITE DES ANALYSES DE QUALITE») для проведения анализов: идентификации проб, физико-химического и микробиологического анализов.

Также был проведен статистический анализ. Данные обрабатывали с использованием программного обеспечения SPSS v 20.0. Последние использовались для анализа данных для сравнения средних показателей с помощью критерия Тьюки (HSD) с порогом значимости, установленным на уровне 5 % ($P < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В PERTEGUI эксперименты проводились в три этапа исследований с тремя вариантами в каждом. Первый этап был проведен с 30 января по 2 февраля, второй – с 6 по 8 февраля, третий – с 13 по 15 февраля 2023 г. Для каждого варианта в каждом этапе было взято по 600 г мякоти плодов баобаба и по 600 мл сертифицированной воды. Единственная разница между вариантами в каждом эксперименте – количество сахара в смеси (тесте). Первый вариант (контрольный) на каждом этапе, с содержанием в смеси 00 г сахара, второй вариант с 500 г сахара и третья проба с 750 г сахара. Готовое тесто взвешивали до сушки и после сушки. Результат представлен в табл. 2.

Таблица 2

Влияние технологических параметров производства на выход и показатели качества печенья
The influence of technological production parameters on the yield and quality indicators of cookies

Показатель	Вариант исследования		
	1-й (контрольный)	2-й	3-й
1	2	3	4
<i>Этап 1</i>			
Период проведения	С 31 января по 2 февраля 2023 г.		
Мякоть плодов баобаба, г	600	600	600
Сахар, г	00	500	750
Вода, мл	600	600	600
Продолжительность сушки, ч	18:30	18:30	18:30
Средняя температура в сушилке, °С	39,50 ± 10,04	39,50 ± 10,04	39,50 ± 10,04
Вес до сушки, г	1185	1661	1935
Вес после сушки, г	620	1201	1472
Потеря воды, г	565	460	463
Доля воды, %	47,67	27,69	23,92
<i>Этап 2</i>			
Период проведения	С 6 февраля по 8 февраля 2023 г.		
Мякоть плодов баобаба, г	600	600	600
Сахар, г	00	500	750
Вода, мл	600	600	600

1	2	3	4
Продолжительность сушки, ч	18:30	18:30	18:30
Средняя температура в сушилке, °C	39,83 ± 11,51	39,50 ± 10,04	39,50 ± 10,04
Вес до сушки, г	1206	1700	1935
Вес после сушки, г	647	1223	1460
Потеря воды, г	559	477	475
Доля воды, %	46,35	28,05	24,54
<i>Этап 3</i>			
Период проведения	С 13 февраля по 15 февраля 2023 г.		
Мякоть плодов баобаба, г	600	600	600
Сахар, г	00	500	750
Вода, мл	600	600	600
Продолжительность сушки, ч	18:30	18:30	18:30
Средняя температура в сушилке, °C	39,50 ± 11,51	39,50 ± 11,51	39,50 ± 11,51
Вес до сушки, г	1205	1728	1943
Вес после сушки, г	667	1278	1524
Потеря воды, г	538	450	419
Доля воды, %	44,64	26,04	21,56

Математический анализ

Вес продукта менялся следующим образом:

а) продукт (тесто) до сушки: от 1185 до 1206 г в трех контрольных вариантах (00 г сахара); от 1661 до 1728 г – в вариантах с 500 г сахара и от 1935 до 1943 г в вариантах с 750 г сахара;

б) продукт (печенье) после сушки: от 620 до 667 г для контрольных вариантов; от 1201 до

1278 г для проб с 500 г сахара и от 1460 до 1524 г для проб с 750 г сахара.

В результате проведения математического анализа было определено соотношения масс мякоти баобаба, продуктов до и после сушки в трех вариантах по этапам и определен коэффициент пропорциональности k (табл. 3).

Таблица 3

**Расчет коэффициента пропорциональности
Calculation of the proportionality coefficient**

Количество сахара, г	Коэф. пропорциональности		
	$kP_0 = P_1/P_0$	$kP_2 = P_1/P_2$	$k = kP_2/kP_0$
00	2,00 ± 0,02	1,86 ± 0,06	0,93
500	2,83 ± 0,06	1,37 ± 0,02	0,48
750	3,23 ± 0,01	1,30 ± 0,03	0,40

Здесь: P_0 – масса мякоти плода баобаба, использованного в опыте, $P_0 = 600$ г; P_1 – первоначальная масса теста (до сушки); P_2 – конечная масса печенья (после сушки).

Анализируя данные табл. 3, можно сделать заключение о том, что коэффициент соотношения массы продукта до сушки к массе мякоти плода баобаба kP_0 при увеличении количества сахара увеличивается, а коэффициент соотношения массы продукта после сушки к массе мякоти плода баобаба kP_2 – уменьшается.

Далее был высчитан коэффициент, определяющий соотношение пропорциональности между двумя весовыми соотношениями k . Учитывая, что $k = 1$ – соотношение прямо пропорционально, а $k \neq 1$ – соотношение обратно пропорционально, по первому варианту (00 г сахара) $k = 0,93$ (почти 1), значит, соотношение прямо пропорционально. Для показателей по другим вариантам (500 и

750 г сахара), $k \neq 1$, что указывает на непрямую пропорциональность.

Физико-химический анализ

Определение доли потери воды, влажности и сухого вещества.

Для определения доли потери воды была выяснена разница между массами одного и того же образца до сушки и после.

Влажность определяли по методу АОАС (Association of Official Analytical Chemists) [12], основанному на обезвоживании путем сушки образцов в печи при температуре 105 °С в течение 4 ч до получения постоянной массы.

Уровень влажности рассчитывали по формуле

$$\frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100,$$

где P_1 – масса образца до сушки, г; P_2 – масса образца после сушки, г.

Доля сухого вещества вычислялась по формуле 100 – влажность, % [13].

Уровень растворимых твердых веществ (TSS), выраженный в градусах Брикса, определяли с помощью рефрактометра Аббе [14].

Содержание аскорбиновой кислоты (витамина С) определяли методом титрования йодом известной концентрации в присутствии крахмалом [15].

Результаты расчетов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты физико-химического анализа образцов
Results of physicochemical analysis of samples

Содержание сахара в образце, г	Потеря воды, %	Влажность, % V.G. 15%/100г	Сухая масса, % V.G 85%/100г	Витамин С, мг V.G 272 мг/100г	Brix, %
00	47,19± 2,05	10,01±0,96	89,99±0,96	208,00±18,15	46,42±3,35
500	26,95±1,30*	12,36±0,09	87,64±0,09	208,00±18,15	62,55±6,44*
750	22,04±2,55*	12,83±0,65	87,17±0,65	208,00±18,15	70,27±4,53*

Здесь: V.G. (Valeur guide considérée) – рассматриваемое ориентировочное значение.

Значения представляют собой средние значения и стандартные отклонения (SD) данных трех циклов выборки. Данные из одного и того же столбца с разными надстрочными буквами статистически различаются при пороге $\alpha = 5\%$ ($P < 0,05$) согласно критерию Тьюки (HSD).

Физико-химические параметры, такие как потеря воды, влажность, сухое вещество и показатель Брикса (°Brix), в различных производимых печеньях варьировали от 22,04 до 47,19; с 10,01 по 12,83; от 87,17 до 89,99 и от 46,42 до 70,27 % соответственно (см. табл. 4). Из анализа табл. 4 видно, что потери воды и сухого вещества уменьшаются, тогда как влажность и °Brix увеличиваются со скоростью введения в печень количество сахара от 00 г до 750 г. Кроме того, статистический анализ выявил значительную разницу при пороге 5 % между различными видами печенья по потере воды и °Brix. Результаты влажности, полученные для этих различных параметров, согласуются с полученными результатами [16]. Таким образом, всю мякоть плодов баобаба, из которой изготавливают баобабовое печенье, можно хранить, поскольку содержание воды в ней составляет менее 14 %, что обычно считается пределом для хорошего хранения муки

из мякоти баобаба [17]. Что касается содержания витамина С, то не наблюдалось существенной разницы ($P \geq 0,05$) между содержанием витамина С в трех проанализированных печеньях, т.е. 208 мг/100 г (см. табл. 4). Содержание витамина С в печенье ниже, чем обнаружено другими авторами, такими как [18], которые наблюдали 300 мг/100 г витамина С. Действительно, витамин С является природным антиоксидантом, его наличие в печенье позволяет отнести продукты из баобаба к фруктам, наиболее богатым витамином С, что делает баобаба продуктом питания, который может быть рекомендован для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний благодаря своим антиоксидантным свойствам [16].

Микробиологический анализ

Тестирование на дрожжи и плесень. Подсчет дрожжевых и плесневых грибов проводили на агаре RB (Rose Bengal Chloramphenicol Agar) по стандарту [19]. Он заключается во внесении в массу агара РБ 1 мл материнской суспензии и ее десятичных разведений. Количество дрожжевых и плесневых грибов оценивали через 3 дня инкубации при 30 °С. Затем был проведен подсчет белых и пастообразных колоний для дрожжей, желтых, белых и черных пушистых колоний для

плесневых грибов с помощью счетчика колоний (BIOBLOCK SCIENTIFIC 88752).

Тестирование на сальмонеллу проводилось согласно Европейскому стандарту NF ISO 6579-1 [20] применительно к пищевым продуктам. Этот метод включает в себя различные этапы: предварительное обогащение, селективное обогащение, селективное выделение сальмонелл. После инкубации характерные колонии сальмонелл (зеленоватые и голубоватые колонии с черным центром или без него на Гектоене) сохраняют и подвергают этапу морфологической и биохимической идентификации.

Микробиологические анализы. Уровни содержания кишечной палочки (всего и фекальной формы), полученные после микробиологического анализа печенья в трех этапах, составляет менее

10 КОЕ/г и 5 КОЕ/г соответственно. Это говорит об отсутствии в образцах видимых колоний.

Результаты, приведенные в табл. 5, свидетельствуют о соблюдении правил гигиены в процессе производства. Что касается грибковой флоры, то полученные результаты показали наличие дрожжей и плесени порядка 2,67 КОЕ/г и 3,00 КОЕ/г соответственно для печенья с содержанием сахара 500 г и 750 г. Подсчет дрожжей и плесени на образцах в трех этапах их изготовления выявил уровни ниже 10,00 КОЕ/г. Однако наблюдаемые уровни загрязнения, тем не менее, ниже нормы. Было отмечено полное отсутствие сальмонелл. Следовательно, печенье, приготовленное в настоящем исследовании, имеет приемлемое микробиологическое качество в соответствии со стандартом анализа и не вызывает никаких проблем со здоровьем у потребителя.

Таблица 5

Микробиологические характеристики образцов печенья
Microbiological characteristics of cookie samples

Содержание сахара в печенье, г	Всего колиформ < 10 UFC/g	Фекальные колиформы < 5 UFC/g	Дрожжи и плесень 10 UFC	Сальмонеллы 0 UFC/1g
00	1,33 ± 0,58	0	1,67 ± 1,15	0
500	1,00 ± 0,00	0	2,67 ± 0,58	0
750	1,00 ± 0,00	< 5	3,00 ± 1,00	0

Здесь UFC (Unité Formant Colonie) – колониеобразующая единица.

Срок годности домашнего печенья

Срок годности домашнего печенья во многом зависит от условий хранения. Чтобы продлить срок хранения мягкого печенья, его нужно хранить в герметичном контейнере, а сухое печенье – в контейнере без крышки.

Домашнее печенье хранится около 2–3 недель при комнатной температуре (около 20 °С), в холодильнике – около 5–7 дней. Если поместить печенье в морозильную камеру, то оптимальное качество его сохраняется примерно 6–8 мес. и может оставаться пригодным для употребления и по истечении этого периода.

ВЫВОДЫ

1. Согласно литературным данным, при энергетической ценности 162 ккал на 100 г в мякоти баобаба содержится в 6 раз больше витамина С, чем в апельсине, и в 3 раза больше, чем в киви, в 6 раз больше калия, чем в бананах, а его антиоксидантные свойства в 10 раз выше, чем у ягод годжи. Она также содержит значительное

количество витаминов группы В, аминокислот и высокий уровень клетчатки.

2. Процент испарения воды в печенье варьировал от 44,35 до 47,67 % для печенья без сахара; от 26,04 до 28,05 % для печенья с содержанием сахара 500 г и от 21,56 до 23,92 % для печенья с содержанием сахара 750 г. Чем больше сахара содержится в печенье, тем больше воды оно удерживает после сушки.

3. В ходе исследований выяснено, что содержание аскорбиновой кислоты в образцах было 208 мг/100 г, меньше, чем у других авторов (272 мг/100 г), но оставалось постоянным при увеличении показателя Вгix и уровня влажности.

4. Согласно полученным результатам в образцах с содержанием сахара 500 и 750 г отмечено наличие дрожжей и плесени порядка 2,67 КОЕ/г и 3,00 КОЕ/г соответственно, что ниже рекомендуемой нормы 10,00 КОЕ/г. Также было отмечено отсутствие сальмонелл, что свидетельствует о соблюдении правил гигиены в процессе производства.

5. Чем больше сахара содержится в печенье, тем выше начальный и конечный вес и тем больше влажность печенья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. O'Brien S. Le baobab, un superaliment à consommer avec sagesse. URL: <https://madame.lefigaro.fr>. 2015.
2. Darche E. L'alimentation idéale des jeunes // Amazone. – France, 2010. – 158 p.
3. Mérien D. L'alimentation alcaline de l'enfance à l'adulte. France, 2015. – 129 p.
4. Braun J. Bienfaits et Méfaits sur le sucre. – Paris, 2019.
5. Lustig R. Sucre l'amère vérité // Amazone. – 2017. – France. – 297 p.
6. Keira Mamadou Saloun. Conakry // Présentation de la Guinée. – 2022. – 52 p.
7. De Vals M. Amazon. – 2020. – Vol. 12(15).
8. Bréant A. L'association chènes et baobab vend un biscuit dont les bénéfices iront aux enfants du Sénégal // Le journal du centre. – URL: www.lejdc.fr. – 2014.
9. Baomix, reportage consacré à la conservation des fruits du baobab. – www.mk-mk.facebook.com. – 2015.
10. Barkélou. Fondation Serigne Saliou Mbacké. Barkélou (Biscuit et savon). – <https://www.facebook.com>. – 2020.
11. Caractérisation du Fruit du Baobab et Etude de sa Transformation en Nectar / M. Cissé, M. Sakho, M. Dornier [et al.] // Fruits. – 2009. – Vol. 64(1). – P. 19–34.
12. Official Methods of Analysis, Ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC (USA), 1990.
13. Audigie C., Fegarella J., Zonszain F. Manipulation d'Analyse Biochimique // Ed. Tech. & Doc. – Paris, 1984. – 270 p.
14. Albornoz C.E.H. Microbiological analysis and control of the fruit vinegar production process // Doctoral Thesis. – 2012.
15. Peter K., Vollhardt C., Schore N.E. Traité de chimie organique // De Boeck Supérieur. – 2004. – 1297 p.
16. Cissé I. Caractérisation des propriétés biochimiques et nutritionnelles de la pulpe du fruit de baobab des espèces endémiques de Madagascar et d'Afrique continentale en vue de leur valorisation // Thèse de Doctorat en Génie des procédés – Sciences des aliments. – Montpellier: École doctorale Sciences des Procédés – Sciences des Aliments, 2012. – 153 p.
17. Trèche S. Potentialités nutritionnelles des ignames (*Dioscorea* spp.) cultivées au Cameroun // Edition de l'ORSTOM. – 1989. – Vol. 1. – 224 p.
18. Gebauer J., EL Siddig K. Ebert. Baobab *Adansonia digitata* L. // A review on a multipurpose tree with promising future in the Sudan. Gartenbauwissenschaft. – 2002. – Vol. 67. – P. 155–60.
19. ISO 21527-1. Microbiology of food and animal feeding stuffs. Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds. P. 1: Colony count technique in products with water activity greater than 0, 95. 2008. – <https://www.iso.org/standard/38275.html> (дата обращения: 15.02.2025)
20. Norme Européenne. 2017. NF EN ISO 6579-1, Microbiologie de la chaîne alimentaire // Méthode horizontale pour la recherche, le dénombrement et le sérotypage des Salmonella. – Partie 1: Recherche des Salmonella spp.

REFERENCES

1. O'Brien S., Le baobab, un superaliment à consommer avec sagesse: <https://madame.lefigaro.fr>, 2015.
2. Darche E., L'alimentation idéale des jeunes, *Amazone*, France, 2010, 158 p.
3. Mérien D., L'alimentation alcaline de l'enfance à l'adulte. France, 2015, 129 p.
4. Braun J., Bienfaits et Méfaits sur le sucre, Paris, 2019.
5. Lustig R., Sucre l'amère vérité, *Amazone*, 2017, France, 297 p.
6. Keira Mamadou Saloun, Conakry, *Présentation de la Guinée*, 2022, 52 p.
7. De Vals M., *Amazon*, 2020, Vol. 12(15).
8. Bréant A., L'association chènes et baobab vend un biscuit dont les bénéfices iront aux enfants du Sénégal, *Le journal du centre*, URL: www.lejdc.fr, 2014.
9. Baomix, reportage consacré à la conservation des fruits du baobab, www.mk-mk.facebook.com, 2015.
10. Barkélou. Fondation Serigne Saliou Mbacké. Barkélou (Biscuit et savon), <https://www.facebook.com>, 2020.
11. Cissé M., Sakho M., Dornier M. [et al.], Caractérisation du Fruit du Baobab et Etude de sa Transformation en Nectar, *Fruits*, 2009, Vol. 64(1), pp. 19–34.
12. Official Methods of Analysis, Ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC (USA), 1990.
13. Audigie C., Fegarella J., Zonszain F., Manipulation d'Analyse Biochimique, *Ed. Tech. & Doc*, Paris, 1984, 270 p.
14. Albornoz C.E.H., Microbiological analysis and control of the fruit vinegar production process, *Doctoral Thesis*, 2012.
15. Peter K., Vollhardt C., Schore N.E., Traité de chimie organique, *De Boeck Supérieur*, 2004, 1297 p.

16. Cissé I., Caractérisation des propriétés biochimiques et nutritionnelles de la pulpe du fruit de baobab des espèces endémiques de Madagascar et d'Afrique continentale en vue de leur valorisation, *Thèse de Doctorat en Génie des procédés – Sciences des aliments*, Montpellier: École doctorale Sciences des Procédés – Sciences des Aliments, 2012, 153 p.
17. Trèche S., Potentialités nutritionnelles des ignames (*Dioscorea* spp.) cultivées au Cameroun, *Edition de l'ORSTOM*, 1989, Vol. 1, 224 p.
18. Gebauer J., EL Siddg K. Ebert., Baobab *Adansonia digitata* L., *A review on a multipurpose tree with promising future in the Sudan. Gartenbauwissenschaft*, 2002, Vol. 67, pp. 155–60.
19. ISO 21527-1., Microbiology of food and animal feeding stuffs. Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds, P. 1: Colony count technique in products with water activity greater than 0, 95. 2008, <https://www.iso.org/standard/38275.html> (дата обращения: 15.02.2025)
20. Norme Européenne, 2017. NF EN ISO 6579-1, Microbiologie de la chaîne alimentaire, *Méthode horizontale pour la recherche, le dénombrement et le sérotypage des Salmonella*, Partie 1: Recherche des Salmonella spp.

Информация об авторах:

Дауда Сампу, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Мамадуба Бангура, доктор наук в области пищевых наук и технологий
Муктар Силла, кандидат сельскохозяйственных наук
Альфа Соу, кандидат ветеринарных наук
Н'Фали Байо, кандидат сельскохозяйственных наук

Contribution of the authors:

Sampou Daouda, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher Ministry of Higher Education, Research and Innovation
Mamadouba Bangoura, Docteur ès sciences en sciences et technologies alimentaires, Ministry of Higher Education, Research and Innovation
Sylla Mouctar, Candidate of Agricultural Sciences, Candidate of Agricultural Sciences, Director of the Research Project on Endogenous Technologies PERTEGUI Ministry of Higher Education, Research and Innovation
Sow Alpha, Candidate of Veterinary Sciences, Researcher Ministry of Higher Education, Research and Innovation
N'faly Bayo, Candidate of Agricultural Sciences, Ministry of Higher Education, Research and Innovation

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ УГЛЕРОДА НА ПРОДУКЦИЮ БИОСУРФАКТАНТОВ ПРИРОДНЫМИ ШТАММАМИ BACILLUS SPP.**Д.Е. Дудник, А.Н. Иркитова, А.В. Малкова, Е.Н. Кожевникова***Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия***E-mail:** dudnik-dina@mail.ru

Для цитирования: Влияние разных источников углерода на продукцию биосурфактантов природными штаммами *Bacillus spp.* / Д.Е. Дудник, А.Н. Иркитова, А.В. Малкова, Е.Н. Кожевникова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 152–159. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-152-159.

Ключевые слова: биосурфактанты, *Bacillus*, источник углерода, культивирование, оптимизация, индекс эмульгирования, внеклеточные биосурфактанты.

Реферат. Биосурфактанты – биотехнологически ценные метаболиты микроорганизмов. Эти соединения обладают не только поверхностно-активными свойствами, но и способностью к подавлению роста патогенных и условно-патогенных бактерий и грибов. Широкий спектр свойств, а также безопасность биосурфактантов позволили найти им применение в разных отраслях промышленности. Однако их производство в настоящее время проблематично. Основные проблемы при получении биосурфактантов связаны с поиском высокоактивных штаммов-продуцентов, оптимизацией состава сред для их культивирования и сокращением затрат на производство. Целью работы было изучить влияние разных источников углерода на продукцию биосурфактантов природными штаммами бацилл. Был проведен скрининг штаммов *Bacillus spp.* из коллекции Инжинирингового центра «Промбиотех», обладающих сурфактанционной активностью. Для отобранных штаммов показано влияние сахарозы, глицерина, маннита и свеколовичной мелассы на продукцию биосурфактантов. Установлено, что штамм *Bacillus atrophaeus* 7 способен к производству поверхностно-активных соединений только при культивировании на средах с мелассой в качестве единственного источника углерода. Напротив, для штамма *Bacillus subtilis* 1/8 зафиксирована продукция биосурфактантов при использовании сред с сахарозой, глицерином, маннитом и свеколовичной мелассой. Также установлено влияние продолжительности культивирования на накопление сурфактантов в среде для обоих штаммов бацилл. Увеличение продолжительности роста приводило к снижению концентрации биосурфактантов в культуральной жидкости.

EFFECT OF DIFFERENT CARBON SOURCES ON BIOSURFACTANT PRODUCTION BY NATURAL STRAINS OF BACILLUS SPP.**D.E. Dudnik, A.N. Irkitova, A.V. Malkova, E.N. Kozhevnikova***Altai State University, Barnaul, Russia***E-mail:** dudnik-dina@mail.ru

Keywords: biosurfactants, *Bacillus*, carbon sources, cultivation, optimization, emulsification index, extracellular biosurfactants.

Abstract. Biosurfactants are biotechnologically valuable metabolites of microorganisms. These compounds have not only surface-active properties, but also the ability to suppress growth of pathogenic and opportunistic bacteria and fungi. The wide range of characteristics and safety of biosurfactants have allowed them to find application in various industries. However, their production is currently problematic. The main problems in biosurfactants obtaining are associated with the search for highly active strains-producers, optimization of media composition for their cultivation, and production costs reduction. The aim of the work was to study the influence of different carbon sources on the biosurfactants production by natural bacilli strains. A screening of *Bacillus spp.* strains that possess surfactant activity from the Engineering Center “Prombiotech” collection was conducted. For the selected strains, the influence of sucrose, glycerol, mannitol and beet molasses on the biosurfactants production was shown. It was established that the *Bacillus atrophaeus* 7 strain is capable of producing surface-active compounds only when cultivated on media with molasses as the sole carbon source. On the contrary, for the *Bacillus subtilis* 1/8 strain, production of biosurfactants was recorded when using media with sucrose, glycerol, mannitol and beet molasses. The influence of cultivation duration on the surfactants accumulation in the medium for both bacilli strains was also established. The growth duration increase resulted in biosurfactants concentration decrease in the culture liquid.

В настоящее время все большее внимания уделяется микробным метаболитам как агентам биологического контроля. Микроорганизмы продуцируют различные соединения, обладающие антибактериальной, антифунгальной и противовирусной активностью. К основным биологически активным соединениям относят биосурфактанты, бактериоцины, кислоты, ферменты, летучие органические и неорганические вещества [1, 2]. Особый интерес из перечисленных соединений представляют биосурфактанты, обладающие широким спектром свойств, позволяющих применять их в разных отраслях: нефтяная промышленность, сельское хозяйство, фармакология, пищевая промышленность, производство моющих и чистящих средств. Высокий потенциал применения биосурфактантов обусловлен также их безопасностью, экологичностью и высоким уровнем биоразлагаемости [3–5].

Биосурфактанты – поверхностно-активные вещества, вырабатываемые различными бактериями, дрожжами, грибами, растениями и животными в процессе их жизнедеятельности. Однако для биотехнологии наиболее перспективны биосурфактанты микробного происхождения. Наиболее изучены гликолипиды бактерий рода *Pseudomonas* и липопептиды рода *Bacillus* [6].

Биосурфактанты бацилл представлены сурфактином, лихенизином, фенгицином, итурином, пумилицидином и бацилломицином [4]. Данные соединения могут влиять на рост, адгезию и образование биопленок патогенными микроорганизмами. Так, установлена антиадгезионная и антибиопленочная активность биосурфактантов *B. subtilis* DS03 в отношении *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* и *Listeria monocytogenes* [3]. А для липопептида, продуцируемого штаммом *B. cereus* NK1, определены антимикробный и антибиопленочный эффекты в отношении *P. aeruginosa* и *S. epidermidis* [7].

При этом производство необходимого на рынке количества биосурфактантов остается проблематичным [6]. В первую очередь это связано с низкой активностью штаммов продуцентов. Например, при проведении скрининга сурфактационной активности Felix et al. [8] из 12 штаммов *Bacillus* spp. только для пяти был установлен синтез биосурфактантов разного уровня.

Актуальной проблемой при производстве биосурфактантов является подбор источников углерода и азота, обеспечивающих оптимальную продукцию данного метаболита штаммом-продуцентом. Проведено много исследований по

оптимизации состава сред для культивирования штаммов-продуцентов. Чаще всего наибольший выход биосурфактантов отмечают на средах, включающих моно- и дисахара (глюкоза, сахароза, ксилоза), реже многоатомные спирты (сорбитол, маннит) [9–12].

Третьей проблемой является высокая себестоимость производства биосурфактантов, которая ограничивает масштабы их использования. Затраты на компоненты среды составляют до 30 % общей стоимости [9]. Это создает потребность в поиске штаммов, способных к продукции биосурфактантов на средах с дешевыми компонентами. Многие исследователи отмечают возможность использования для этих целей отходов производств, например, глицерин, патоку, побеги виноградной лозы, сыворотку, крахмал маниоки [3, 9, 13–15].

Цель настоящего исследования: оценка продукции биосурфактантов природными штаммами *Bacillus* spp. при культивировании на средах с разными источниками углерода.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследования использовались 17 штаммов *Bacillus* spp. из коллекции ИЦ Промбиотех АлтГУ, выделенные из естественных и антропогенных экологических ниш.

Для первичного скрининга сурфактационной активности бациллы выращивали на L бульоне следующего состава, г/л: NaCl 5, пептон 15, дрожжевой экстракт 5. Штаммы культивировали в шейкере-инкубаторе Innova 44 («New Brunswick», США) при 37 °C и 200 об/мин в течение 24 ч.

Продукцию биосурфактантов оценивали с помощью теста на парафильме [16]. Суточную культуру каждого штамма центрифугировали MiniSpin («Eppendorf», Германия) для отделения клеток в течение 10 мин при 4500 об/мин. Полученные супернатанты наносили каплей на полосу парафильма. Оценку результата проводили в течение 1–2 мин. При сохранении каплей округлого профиля результат считался отрицательным, при сглаживании профиля и растекании капли по поверхности материала – положительным.

У штаммов с положительным результатом оценивали эмульгирующую активность E_{24} [16]. Для этого смешивали в равных объемах керосин и бесклеточный супернатант с последующим встряхиванием раствора на вихревом смесителе V3 («Elmi», Латвия) в течение 2 мин. Полученную эмульсию оставляли на 24 ч при комнатной температуре. По истечении времени измеряли размер

эмульгированного слоя. Индекс E_{24} рассчитывали, как отношение высоты слоя эмульсии к высоте общего слоя жидкости в пробирке. Значение выражали в процентах.

Для штаммов с эмульгирующей активностью более 50 % изучили динамику продукции биосурфактантов на среде MSS с нитратом аммония в качестве источника азота [12]. В качестве источников углерода в среду вносили сахарозу, глицерин, маннит и свекловичную мелассу (содержание сахара прямой поляризации 46,8 %) в количестве 10 % от объема среды. Культивирование проводили в шейкере-инкубаторе Innova 44 («New Brunswick», США) в течение 72 ч при 37 °С и 200 об/мин.

Рост культуры оценивали путем измерения оптической плотности среды на спектрофотометре UV-1280 («Shimadzu», Япония) при длине волны 600 нм. Образец среды предварительно разводили в 10 раз. Отбор проб для определения оптической плотности и эмульгирующей активности осуществляли каждые 24 ч.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Биосурфактанты – поверхностно-активные соединения, нерибосомально синтезируемые метаболиты микроорганизмов разных таксономических групп. Их синтез обнаружен у бактерий *Pseudomonas*, *Lactobacillus*, *Serratia* и грибов *Candida*, *Rhodotorula* и др. [17]. Продукция биосурфактантов также отмечается у многих видов бацилл. В частности, известны штаммы *B. safensis*, *B. siamensis*, *B. tequilensis*, *B. paralicheniformis*, *B. licheniformis* и *B. subtilis*, выделяющие в культуральную жидкость различные липопептиды [10, 13, 18, 19]. В нашем исследовании был проведен скрининг сурфактационной активности разных видов бацилл: 3 штамма *B. atrophaeus*, 1 штамм *B. safensis*, 2 штамма *B. licheniformis*, 5 штаммов *B. pumilus*, 3 штамма *B. firmus*, 1 штамм *B. mojavensis*, 1 штамм *B. toyonensis* и 1 штамм *B. subtilis*. Продукция сурфактантов установлена для 4 из 17 штаммов: *B. atrophaeus* 7, *B. atrophaeus* 8, *B. firmus* 3, *B. subtilis* 1/8 (табл. 1).

Таблица 1

Скрининг продукции биосурфактантов штаммами *Bacillus* spp.
Screening of biosurfactant production by *Bacillus* spp. strains.

Штамм	Parafilm-тест	E_{24} , %
Контроль (1%-й раствор лаурилсульфата натрия)	+	62,96±1,57
<i>B. atrophaeus</i> 1	–	0
<i>B. atrophaeus</i> 7	+	53,32±2,93
<i>B. atrophaeus</i> 8	+	47,06±1,34
<i>B. safensis</i> 6	–	0
<i>B. licheniformis</i> 5	–	0
<i>B. licheniformis</i> 10	–	0
<i>B. pumilus</i> 4	–	0
<i>B. pumilus</i> 5	–	0
<i>B. pumilus</i> 6	–	0
<i>B. pumilus</i> 7	–	0
<i>B. pumilus</i> 16	–	0
<i>B. firmus</i> 1	–	0
<i>B. firmus</i> 2	–	0
<i>B. firmus</i> 3	+	25,93±2,33
<i>B. mojavensis</i> 9	–	0
<i>B. toyonensis</i> 15	–	0
<i>B. subtilis</i> 1/8	+	57,97±2,84

Примечание. «+» сурфактационная активность обнаружена, «-» сурфактационная активность не обнаружена.

Биосурфактанты по их локализации разделяют на внеклеточные и связанные с клетками [13]. Большинство исследований, в том числе наше,

направлены на оценку продукции поверхностно-активных соединений, выделяемых клетками во внешнюю среду. Возможно, штаммы, супер-

натанты которых не проявили эмульгирующей активности, способны к образованию связанных с клетками биосурфактантов.

Эмульгирующая способность биосурфактантов не одинакова в отношении разных углеводородных субстратов. Это также могло отразиться на полученных результатах. Так, некоторые авторы отмечают разные значения индекса эмульгирования для штаммов *B. subtilis* при эмульгировании бензина, керосина и дизельного топлива [8].

Индекс эмульгирования – сила поверхностно-активного вещества, ограничивающая разделение фаз смеси. При значении этого показателя более 50 % эмульсия считается стойкой [10, 18]. В связи с чем штаммы, супернатанты которых показали такой результат (*B. atrophaeus* 7 и *B. subtilis* 1/8), использовали для оценки продукции биосурфактантов в динамике при использовании сред с разными источниками углерода.

Выбор источника углерода существенно влияет на продукцию бактериями биосурфактантов. В данной работе оценивали продукцию биосурфактантов на средах с сахарозой, глицерином, маннитом и мелассой в качестве единственного источника углерода. Количество поверхностно-активных соединений в супернатанте определяли косвенно – по индексу эмульгирования. Прямая корреляция между этими показателями отмечена в работе Rocha et al. [19].

Источник углерода оказал существенное влияние на продуктивность штаммов. Для штамма *B. subtilis* 1/8 отмечена способность к образованию биосурфактантов при использовании всех углеводных субстратов. Напротив, для штамма *B. atrophaeus* 7 продукция таких соединений зафиксирована только при использовании сред с мелассой (табл. 2).

Таблица 2

Индекс эмульгирования супернатантов штамма *B. subtilis* 1/8 и *B. atrophaeus* 7 при культивировании на средах с разными источниками углерода
Emulsification index of supernatants of *B. subtilis* strain 1/8 and *B. atrophaeus* 7 when cultivated on media with different carbon sources

Время культивирования, ч	Источник углерода	E24, %	
		<i>B. subtilis</i> 1/8	<i>B. atrophaeus</i> 7
24	Сахароза	15,38±1,33	0
	Глицерин	26,92±1,59	0
	Маннит	59,26±0,53	0
	Меласса	59,26±2,59	37,03±0,18
48	Сахароза	42,85±1,71	0
	Глицерин	21,43±0,33	0
	Маннит	0	0
	Меласса	42,85±1,17	11,11±0,25
72	Сахароза	39,29±1,84	0
	Глицерин	10,71±0,11	0
	Маннит	0	0
	Меласса	39,29±1,62	0

Меласса является перспективным и экономически выгодным источником углерода для синтеза биосурфактантов микроорганизмами. В состав патоки помимо сахаров входят аминокислоты, витамины и минералы, что может положительно сказываться на продукции метаболитов [20]. Повышение выхода биосурфактантов при использовании мелассных питательных сред подтверждается другими учеными [3, 9].

Продукция биосурфактантов штаммом *B. subtilis* 1/8 зафиксирована и при использовании других источников. На среде, содержащей маннит,

также в первые 24 ч культивирования отмечены значения индекса эмульгирования, близкие к полученным на среде с мелассой. Это согласуется с данными других авторов. В исследовании штамм *B. atrophaeus* 5-2а при культивировании на средах с маннитом также показал значение E_{24} больше 50 % [12].

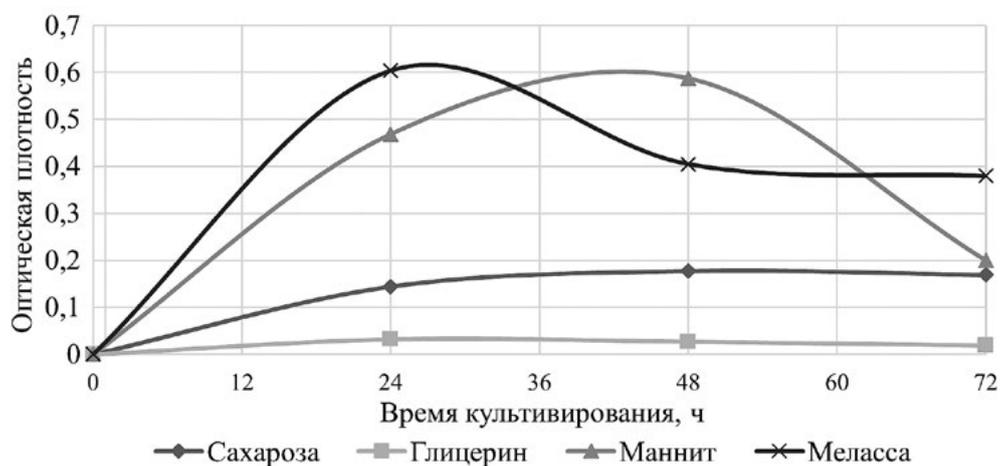
Сахароза в ряде исследований рассматривается как перспективный источник углерода для получения биосурфактантов. Так, в работе Wu et al. штамм *B. subtilis* SL на среде с сахарозой в качестве единственного источника углерода показы-

вал лучший результат по количеству полученного сурфактина [11]. А Abdel-Mawgoud et al. и Zhang et al. отмечают высокий выход биосурфактантов (не менее 700 мг/л) на средах с сахарозой [9, 12]. В нашем исследовании продукция биосурфактантов при использовании сахарозы зафиксирована только для штамма *B. subtilis* 1/8. При этом полученные значения индекса эмульгирования ниже, чем при использовании мелассы и маннита. Такое расхождение может быть обусловлено различиями в ферментных системах разных штаммов бацилл.

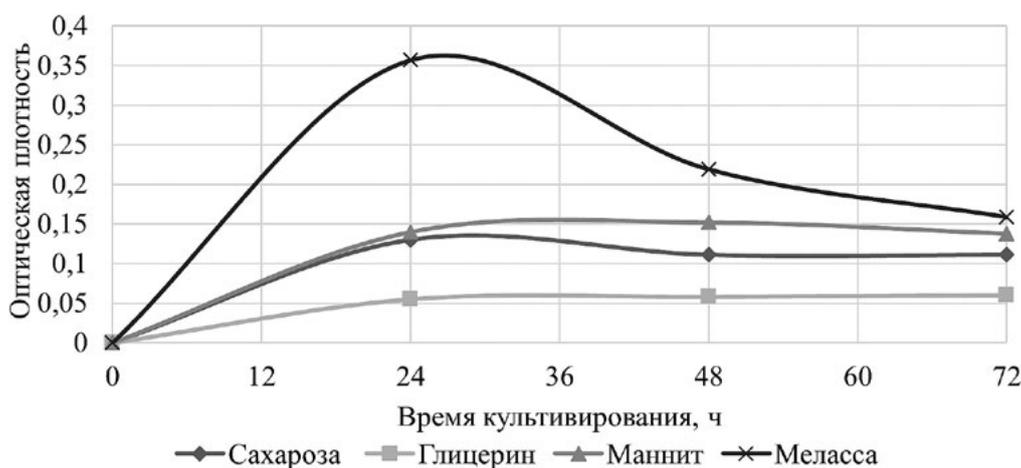
О глицерине как источнике углерода для производства биосурфактантов бациллами в литературе сложилось неоднозначное мнение. Это связано в первую очередь с тем, что не все штаммы бацилл способны к эффективному использованию этого соединения. Так, известны

штаммы *B. velezensis* BS-37 и *B. subtilis* #309, для которых отмечен хороший рост и продукция сурфактина на средах с глицерином [15, 21]. Напротив, для штамма *B. subtilis* BS5 зафиксировано слабое относительно других источников углерода накопление биомассы и низкая концентрация биосурфактантов в культуральной жидкости [9].

В нашем исследовании также получены противоречивые результаты: для штамма *B. subtilis* 1/8 отмечена продукция биосурфактантов, несмотря на самое малое количество клеток ($ОП_{600} 0,027 \pm 0,005$). Это указывает на использование глицерина данным штаммом для синтеза соединений. Штамм *B. atrophaeus* 7, несмотря на большую концентрацию клеток ($ОП_{600} 0,057 \pm 0,003$) оказался не способен к продукции биосурфактантов из данного субстрата (рисунок).



а



б

Изменение количества клеток штаммов в процессе культивирования при использовании разных источников углерода: а – *B. subtilis* 1/8; б – *B. atrophaeus* 7

Change in the cell count of strains during cultivation using different carbon sources: а – *B. subtilis* 1/8; б – *B. atrophaeus* 7

Производство биосурфактантов штаммами неодинаково в процессе их роста. Фактор времени часто играет ключевую роль. Во многих исследованиях отмечают интенсивное накопление биосурфактантов в экспоненциальной фазе роста. Рост концентрации поверхностно-активных веществ идет параллельно росту культуры до наступления стационарной фазы [3, 11]. При этом увеличение продолжительности культивирования может негативно сказываться на количестве биосурфактантов в среде. Так, Rocha et al. и Abdel-Mawgoud et al. [9, 19] указывают на падение концентрации сурфактина в культуральной жидкости после 48 ч роста для штаммов *B. subtilis*.

В данном исследовании показана аналогичная корреляция. Для штаммов отмечается снижение индекса эмульгирования через 48 ч культивирования. Исключение составляет продукция биосурфактантов штаммом *B. subtilis* 1/8 на среде с сахарозой, где максимальная эмульгирующая активность зафиксирована через 48 ч роста. Это может быть связано с особенностями утилизации данного субстрата штаммом.

Падение уровня биосурфактантов в среде при последующем культивировании связывают с его потреблением штаммами на фоне истощения питательных веществ. Помимо этого, через 48–72 ч роста начинается отмирание клеток из-за накопления метаболитов, изменения физико-хи-

мических параметров среды и недостатка питания [11, 13]. Так, на средах с мелассой для обоих исследуемых штаммов отмечается снижение количества клеток через 48 ч культивирования, что совпадает с моментом падения значений индекса эмульгирования.

ВЫВОДЫ

1. Для четырех природных штаммов бацилл была установлена продукция биосурфактантов. Из них два штамма показали значения индекса эмульгирования более 50 %.

2. Источник углерода существенно повлиял на продуктивность исследуемых штаммов. Максимальные значения E_{24} зафиксированы для штамма *B. subtilis* 1/8 при использовании мелассы в качестве единственного источника углерода.

3. Продолжительность культивирования сказалась на продукции биосурфактантов штаммами. При росте штаммов на средах с глицерином, маннитом и мелассой более 24 ч зафиксировано падение количества данного метаболита в культуральной жидкости.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта губернатора Алтайского края, соглашение № 30-2024-004271.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Shleeva M.O., Kondratieva D.A., Kaprelyants A.S. *Bacillus licheniformis*: A Producer of Antimicrobial Substances, including Antimycobacterials, Which Are Feasible for Medical Applications // *Pharmaceutics*. – 2023. – Vol. 7. – P. 1893 – DOI: 10.3390/pharmaceutics15071893.
2. *Antimicrobial Bacillus*: Metabolites and Their Mode of Action / C. Tran, I. E. Cock, X. Chen [et al.] // *Antibiotics (Basel)*. – 2022. – Vol. 11. – DOI: 10.3390/antibiotics11010088.
3. *Biosurfactant from Bacillus subtilis DS03*: Properties and Application in Cleaning Out Place System in a Pilot Sausages Processing / I. Cruz Mendoza, M. Villavicencio-Vasquez, P. Aguayo [et al.] // *Microorganisms*. – 2022. – Vol. 10(8) – DOI: 10.3390/microorganisms10081518.
4. *Lipopeptide Biosurfactants from Bacillus spp.*: Types, Production, Biological Activities, and Applications in Food / N. Ali, Z. Pang, F. Wang [et al.] // *Journal of Food Quality*. – 2022. – DOI: 10.1155/2022/3930112.
5. *Harnessing the Potential of Biosurfactants for Biomedical and Pharmaceutical Applications* / C. Ceresa, L. Fracchia, A.C. Sansotera [et al.] // *Pharmaceutics*. – 2023. – Vol. 15(8). – DOI: 10.3390/pharmaceutics15082156.
6. Kumari R., Singha L.P., Shukla P. Biotechnological potential of microbial bio-surfactants, their significance, and diverse applications // *FEMS Microbes*. – 2023. – Vol. 4. – DOI: 10.1093/femsmc/xtad015.
7. *Biofilm inhibition and antimicrobial action of lipopeptide biosurfactant produced by heavy metal tolerant strain Bacillus cereus NK1* / M.I. Sriram, K. Kalishwaralal, V. Deepak [et al.] // *Colloids Surf B Biointerfaces*. – 2011. – Vol. 85(2). – P. 174–181. – DOI: 10.1016/j.colsurfb.2011.02.026.
8. *Purification and characterization of a biosurfactant produced by Bacillus subtilis in cashew apple juice and its application in the remediation of oil-contaminated soil* / A.K.N. Felix, J.J. Martins, J.G.L. Almeida [et al.] // *Colloids Surf B Biointerfaces*. – 2019. – Vol. 175. – P. 256–263. – DOI: 10.1016/j.colsurfb.2018.11.062.
9. Abdel-Mawgoud A.M., Aboulwafa M.M., Hassouna N.A. Optimization of surfactin production by *Bacillus subtilis* isolate BS5 // *Appl Biochem Biotechnol*. – 2008. – Vol. 150(3). – P. 305–325. – DOI: 10.1007/s12010-008-8155-x.
10. *Evaluation of Biosurfactant Production by Bacillus Species Using Glucose and Xylose as Carbon Sources* / R.S. Adindari, R. Purwadi, H. Hoerudin [et al.] // *Curr Microbiol*. – 2023. – Vol. 80. – DOI: 10.1007/s00284-023-03345-6.

11. *Biosurfactant* production by *Bacillus subtilis* SL and its potential for enhanced oil recovery in low permeability reservoirs / B. Wu, J. Xiu, L. Yu [et al.] // *Sci Rep.* – 2022. – Vol. 12. – DOI: 10.1038/s41598-022-12025-7.
12. *Production* of lipopeptide biosurfactants by *Bacillus atrophaeus* 5-2a and their potential use in microbial enhanced oil recovery / J. Zhang, Q. Xue, H. Gao [et al.] // *Microb Cell Fact.* – 2016. – Vol. 15. – DOI: 10.1186/s12934-016-0574-8.
13. *Production* of biosurfactants from vine-trimming shoots using the halotolerant strain *Bacillus tequilensis* ZSB10 / S. Cortés-Camargo, N. Pérez, R. Oliveira [et al.] // *Industrial Crops and Products.* – 2016. – Vol. 79. – P. 258–266. – DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.11.003.
14. *Mouafo T. H., Mbawala A., Ndjouenkeu R.* Effect of Different Carbon Sources on Biosurfactants' Production by Three Strains of *Lactobacillus* spp. // *Biomed Res Int.* – 2018. – Vol. 2018. – DOI: 10.1155/2018/5034783.
15. *Sustainable* Surfactin Production by *Bacillus subtilis* Using Crude Glycerol from Different Wastes / T. Janek, E.J. Gudiña, X. Połomska [et al.] // *Molecules.* – 2021. – Vol. 26(12). – DOI: 10.3390/molecules26123488.
16. *Sohail R., Nazia J.* Microbial Biosurfactant Screening: Diversity in Assessment Methods // *Advancements of Microbiology.* – 2023. – Vol. 62. – P. 145–155. – DOI: 10.2478/am-2023-0013.
17. *Sharma J., Sundar D., Srivastava P.* Biosurfactants: Potential Agents for Controlling Cellular Communication, Motility, and Antagonism // *Front Mol Biosci.* – 2021. – Vol. 8. – DOI: 10.3389/fmolb.2021.727070.
18. *Biosurfactant* and biopolymer producing microorganisms from West Kazakhstan oilfield / U. Shaimerdenova, G. Kaiyrmanova, W. Lewandowska [et al.] // *Sci Rep.* – 2024. – Vol. 14. – DOI: 10.1038/s41598-024-52906-7.
19. *Kinetic* study and characterization of surfactin production by *Bacillus subtilis* UFPEDA 438 using sugarcane molasses as carbon source / P.M. Rocha, A.C. Dos Santos Mendes, S.D. de Oliveira Júnior [et al.] // *Prep Biochem Biotechnol.* – 2021. – Vol. 51(3). – P. 300–308. – DOI: 10.1080/10826068.2020.1815055.
20. *Zhang S., Wang J., Jiang H.* Microbial production of value-added bioproducts and enzymes from molasses, a by-product of sugar industry // *Food Chem.* – 2021. – Vol. 346. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128860.
21. *Genome* and transcriptome analysis of *Bacillus velezensis* BS-37, an efficient surfactin producer from glycerol, in response to d-/l-leucine / D. Zhou, F. Hu, J. Lin [et al.] // *Microbiologyopen.* – 2019. – Vol. 8. – DOI: 10.1002/mbo3.794.

REFERENCES

1. Shleeva M.O., Kondratieva D.A., Kaprelyants A.S., *Bacillus licheniformis*: A Producer of Antimicrobial Substances, including Antimycobacterials, Which Are Feasible for Medical Applications, *Pharmaceutics*, 2023, Vol. 7, pp. 1893, DOI: 10.3390/pharmaceutics15071893.
2. Tran C., Cock I. E., Chen X. et al., Antimicrobial *Bacillus*: Metabolites and Their Mode of Action, *Antibiotics (Basel)*, 2022, Vol. 11, DOI: 10.3390/antibiotics11010088.
3. Cruz Mendoza I., Villavicencio-Vasquez M., Aguayo P. et al., Biosurfactant from *Bacillus subtilis* DS03: Properties and Application in Cleaning Out Place System in a Pilot Sausages Processing, *Microorganisms*, 2022, Vol. 10(8), DOI: 10.3390/microorganisms10081518.
4. Ali N., Pang Z., Wang F. et al., Lipopeptide Biosurfactants from *Bacillus* spp.: Types, Production, Biological Activities, and Applications in Food, *Journal of Food Quality*, 2022, DOI: 10.1155/2022/3930112.
5. Ceresa C., Fracchia L., Sansotera A.C. et al., Harnessing the Potential of Biosurfactants for Biomedical and Pharmaceutical Applications, *Pharmaceutics*, 2023, Vol. 15(8), DOI: 10.3390/pharmaceutics15082156.
6. Kumari R., Singha L.P., Shukla P., Biotechnological potential of microbial bio-surfactants, their significance, and diverse applications, *FEMS Microbes*, 2023, Vol. 4, DOI: 10.1093/femsmc/xtad015.
7. Sriram M.I., Kalishwaralal K., Deepak V. et al., Biofilm inhibition and antimicrobial action of lipopeptide biosurfactant produced by heavy metal tolerant strain *Bacillus cereus* NK1, *Colloids Surf B Biointerfaces*, 2011, Vol. 85(2), pp. 174–181, DOI: 10.1016/j.colsurfb.2011.02.026.
8. Felix A.K.N., Martins J.J., Almeida J.G.L. et al., Purification and characterization of a biosurfactant produced by *Bacillus subtilis* in cashew apple juice and its application in the remediation of oil-contaminated soil, *Colloids Surf B Biointerfaces*, 2019, Vol. 175, pp. 256–263, DOI: 10.1016/j.colsurfb.2018.11.062.
9. Abdel-Mawgoud A.M., Aboulwafa M.M., Hassouna N.A., Optimization of surfactin production by *Bacillus subtilis* isolate BS5, *Appl Biochem Biotechnol*, 2008, Vol. 150(3), pp. 305–325, DOI: 10.1007/s12010-008-8155-x.
10. Adiandri R.S., Purwadi R., Hoerudin H. et al., Evaluation of Biosurfactant Production by *Bacillus* Species Using Glucose and Xylose as Carbon Sources, *Curr Microbiol*, 2023, Vol. 80, DOI: 10.1007/s00284-023-03345-6.
11. Wu B., Xiu J., Yu L. et al., Biosurfactant production by *Bacillus subtilis* SL and its potential for enhanced oil recovery in low permeability, *Sci Rep*, 2022, Vol. 12, DOI: 10.1038/s41598-022-12025-7.
12. Zhang J., Xue Q., Gao H. et al., Production of lipopeptide biosurfactants by *Bacillus atrophaeus* 5-2a and their potential use in microbial enhanced oil recovery, *Microb Cell Fact*, 2016, Vol. 15, DOI: 10.1186/s12934-016-0574-8.
13. Cortés-Camargo S., Pérez N., Oliveira R. et al., Production of biosurfactants from vine-trimming shoots using the halotolerant strain *Bacillus tequilensis* ZSB10, *Industrial Crops and Products*, 2016, Vol. 79, pp. 258–266, DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.11.003.

14. Mouafo T.H., Mbawala A., Ndjouenkeu R., Effect of Different Carbon Sources on Biosurfactants' Production by Three Strains of *Lactobacillus* spp., *Biomed Res Int*, 2018, Vol. 2018, DOI: 10.1155/2018/5034783.
15. Janek T., Gudiña E.J., Połomska X. et al., Sustainable Surfactin Production by *Bacillus subtilis* Using Crude Glycerol from Different Wastes, *Molecules*, 2021, Vol. 26(12), DOI: 10.3390/molecules26123488.
16. Sohail R., Nazia J., Microbial Biosurfactant Screening: Diversity in Assessment Methods, *Advancements of Microbiology*, 2023, Vol. 62, pp. 145–155, DOI: 10.2478/am-2023-0013.
17. Sharma J., Sundar D., Srivastava P., Biosurfactants: Potential Agents for Controlling Cellular Communication, Motility, and Antagonism, *Front Mol Biosci*, 2021, Vol. 8, DOI: 10.3389/fmolb.2021.727070.
18. Shaimerdenova U., Kaiyrmanova G., Lewandowska W. et al., Biosurfactant and biopolymer producing microorganisms from West Kazakhstan oilfield, *Sci Rep*, 2024, Vol. 14, DOI: 10.1038/s41598-024-52906-7.
19. Rocha P.M., Dos Santos Mendes A.C., de Oliveira Júnior S.D. et al., Kinetic study and characterization of surfactin production by *Bacillus subtilis* UFPEDA 438 using sugarcane molasses as carbon source, *Prep Biochem Biotechnol*, 2021, Vol. 51(3), pp. 300–308, DOI: 10.1080/10826068.2020.1815055.
20. Zhang S., Wang J., Jiang H., Microbial production of value-added bioproducts and enzymes from molasses, a by-product of sugar industry, *Food Chem*, 2021, Vol. 346, DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128860.
21. Zhou D., Hu F., Lin J. et al., Genome and transcriptome analysis of *Bacillus velezensis* BS-37, an efficient surfactin producer from glycerol, in response to d-/l-leucine, *Microbiologyopen*, 2019, Vol. 8, DOI: 10.1002/mbo3.794.

Информация об авторах:

Д.Е. Дудник, аспирант ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет»

А.Н. Иркитова, кандидат биологических наук, доцент

А.В. Малкова, кандидат биологических наук

Е.Н. Кожевникова, лаборант-исследователь

Contribution of the authors:

D.E. Dudnik, Postgraduate Student

A.N. Irkitova, Candidate of Biological Science

A.V. Malkova, Candidate of Biological Science

E.N. Kozhevnikova, Laboratory assistant

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ РАЗДОЯ КОРОВ ПЕРВОЙ ЛАКТАЦИИ СИММЕНТАЛЬСКОЙ ПОРОДЫ НА ИХ ПОЖИЗНЕННУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПРОДУКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В.А. Дунина, Е.Р. Гостева

Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Саратов, Россия

E-mail: dulinawa@mail.ru

Для цитирования: Дунина В.А., Гостева Е.Р. Влияние интенсивности раздоя коров первой лактации симментальской породы на их пожизненную продуктивность и продолжительность продуктивного использования // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 160–169. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-160-169.

Ключевые слова: симментальская порода, раздой первотелок, пожизненная продуктивность, продуктивное долголетие.

Реферат. По результатам исследований установлено влияние интенсивности раздоя коров первой лактации симментальской породы на продолжительность продуктивного использования коров симментальской породы. У коров-первотелок со средним удоем за первую лактацию 4000–5000 кг молока продолжительность жизни была выше на 177,29; 181,31 и 209,74 дней, чем у сверстниц с классом продуктивности 5001–6000; 6001–7000 и 7001 и более килограммов молока. Животные I группы имели и более продолжительный период продуктивного использования – 1670,51 дней, что выше на 165,74; 151,86 и 154,63 дня, чем у коров II, III и IV групп соответственно. С увеличением удоя за первую лактацию наблюдалось сокращение количества использованных лактаций с 3,89 до 3,16. Между животными с уровнем продуктивности 4000–5000 кг и 7001 и более кг установлена статистически значимая разница по продуктивному долголетию на 0,73 лактаций ($P \geq 0,95$). От животных с классом продуктивности 7001 кг молока и более за 3,16 лактаций получен более высокий пожизненный удой – 20316,73 кг, разница по этому показателю в сравнении с I, II и III группой составила 87,42, 620,38 и 2267,44 кг ($P \leq 0,95$). Средний удой за все лактации в IV группе был 6636,21 кг, что достоверно выше средних показателей коров I, II и III групп на 29,55; 22,28 и 23,11 % ($P \geq 0,999$), а разница по удою на 1 день жизни и на 1 день продуктивного использования соответственно составила 8,52 % ($P \geq 0,95$); 4,44 % ($P \leq 0,95$); 13,76 % ($P \geq 0,999$) и 10,65 % ($P \geq 0,95$); 2,37 % ($P \leq 0,95$); 13,56 % ($P \geq 0,99$). При сравнительной оценке динамики молочной продуктивности между группами выявлено превосходство по удою с первой по шестую лактации у первотелок IV группы в сравнении с I, II и III на 1491,47; 1191,29 и 1388,62 кг соответственно.

INFLUENCE OF INTENSITY OF MILKING OF SIMMENTAL BREED FIRST LACTATION COWS ON THEIR LIFELONG PRODUCTIVITY AND DURATION OF PRODUCTIVE USE

V.A. Dunina, E.R. Gosteva

Federal State Scientific Center of the South-East, Saratov, Russia

E-mail: dulinawa@mail.ru

Keywords: Simmental breed, first-calf milking, lifetime productivity, productive longevity.

Abstract According to the results of the research, the influence of milking intensity of first-calf heifers on the duration of productive use of Simmental cows was established. In first-calf cows with average milk yield for 1 lactation – 4000–5000 kg of milk life expectancy was higher by 177, 29; 181,31 and 209,74 days than in coevals with productivity class 5001–6000; 6001–7000 and 7001 and more kg of milk. Group I animals also had longer productive period of 1670.51 days, which was higher by: 165.74; 151.86 and 154.63 days than cows of groups II, III and IV, respectively. With the increase in milk yield for the first lactation, there was a decrease in the number of lactations used from 3.89 to 3.16. A statistically significant difference of 0.73 lactations ($P \geq 0.95$) in productive longevity was found between animals with productivity class 4000–5000 kg and 7001 and more kg. A higher lifetime milk yield of 20316.73 kg was obtained from animals with productivity class of 7001 kg of milk and more for 3.16 lactations, the difference in this indicator compared to group I, II and III was 87.42, 620.38 and 2267.44 kg ($P \leq 0.95$). The average milk yield for all lactations in group IV was 6636.21 kg, which was significantly higher than the average of cows of groups I, II and III by 29.55; 22.28 and 23.11 % ($P \geq 0.999$), and the difference in milk yield per 1 day of life and per 1 day of productive use, respectively, was 8.52 % ($P \geq 0.95$); 4.44 % ($P \leq 0.95$); 13.76 % ($P \geq 0.999$) and 10.65 % ($P \geq 0.95$); 2.37 % ($P \leq 0.95$); 13.56 % ($P \geq 0.99$). Comparative evaluation of milk

productivity dynamics between the groups revealed superiority in milk yield from 1 to 6 lactation in first heifers of group IV, compared to I, II and III by 1491.47; 1191.29 and 1388.62 kg, respectively.

Важнейшей задачей молочного скотоводства является долготеление использование высокопродуктивного поголовья коров, от которого зависит главным образом пожизненная продуктивность, количество полученного приплода и экономическая эффективность отрасли в целом [1–5].

В последнее время во многих хозяйствах Российской Федерации продуктивный период молочных коров снижается, животные выбывают из стада в возрасте 3–4-й лактации, не успев проявить максимальную производительность [6–8].

При интенсификации животноводства, с увеличением молочной продуктивности увеличивается риск выбытия коров из-за заболевания вымени, нарушения обмена веществ, непригодности к машинному доению, нарушений воспроизводительной способности, болезней конечностей [8–12].

Увеличение продолжительности продуктивного использования коров является важным хозяйственно полезным признаком, так как от него зависит уровень продуктивности стада и рентабельность отрасли молочного скотоводства [13, 14].

При длительном сроке жизни коровы требуется меньше замены поголовья в стаде, в результате чего существенно снижаются затраты на выращивание ремонтных телок, снижается себестоимость производимой продукции [3, 14–17].

Во всем мире также наиболее важным функциональным и экономически важным признаком при селекции крупного рогатого скота считается долготеление. Во многих странах с развитым животноводством сталкиваются с проблемой снижения продуктивного долготеления, в США оно составляет 2,8 лактации, в Дании в среднем 5, в Канаде – 6, в Германии 2–3,6, в Болгарии 3,5–4 лактации. Поэтому увеличение долготеления в зарубежных странах и

России находится на первом месте в программах селекции животных и в рамках государственных селекционных программ по улучшению племенных качеств молочного скота [1, 12, 13, 18, 19].

На продуктивное долготеление крупного рогатого скота влияет комплекс наследственных и паратипических факторов, в том числе породная, линейная принадлежность, происхождение, возраст и живая масса коров первого отела, интенсивность раздоя по первой лактации, условия кормления и содержания [20–24].

Интенсивный раздой первотелок в первую лактацию может оказывать существенное влияние на сроки их продуктивного использования, установление того, в каких пределах раздой является оптимальным, позволит получить наибольший пожизненный удой и реализовать генетический потенциал маточного поголовья [10, 23, 24].

Целью исследований являлось изучение влияния интенсивности раздоя коров по первой лактации симментальской породы на их пожизненную продуктивность и продолжительность продуктивного использования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в племрепродукторе ООО «Агрофирма «Рубеж» Пугачевского района Саратовской области. Объектом исследований послужили 510 коров всех лактаций. Проведен анализ племенных карточек 2-мол., выбывших племенных коров в период с 2020 по 2022 гг. В зависимости от величины удоя, кг, животные были разделены на четыре группы (рис. 1).

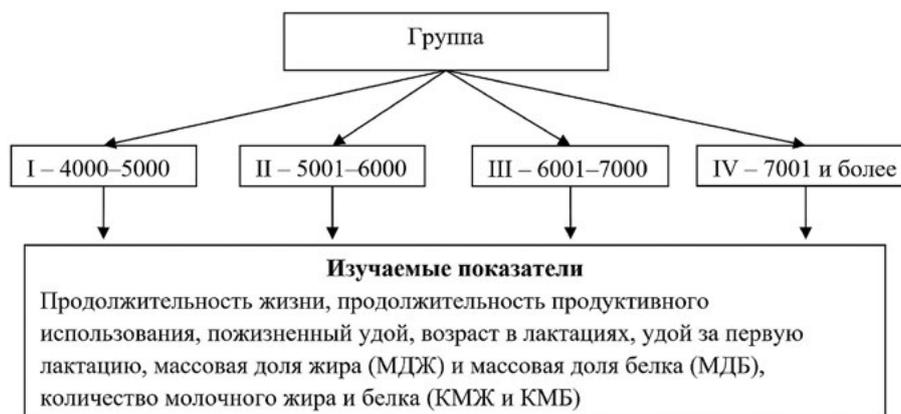


Рис. 1. Схема исследований
Research scheme

Был рассчитан коэффициент хозяйственного использования, %, по формуле Н.С. Пелехатого: $KХИ = (Ж - К) / Ж \times 100$, где $Ж$ – продолжительность жизни коровы, дн.; $К$ – возраст коровы при первом отеле, дн.

Корреляционный анализ и статистическую обработку данных проводили на персональном компьютере с помощью использования программ Microsoft Excel. Достоверность полученных показателей между группами оценивали по критерию Стьюдента. Порог достоверности выражен

следующим образом: * – $P \geq 0,95$, ** – $P \geq 0,99$, *** – $P \geq 0,999$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Уровень пожизненной продуктивности, продолжительности жизни и продуктивного долголетия коров симментальской породы, выбывших из племрепродуктора ООО «Агрофирма «Рубеж», представлены в табл. 1.

Таблица 1

Продолжительность продуктивного использования и пожизненная продуктивность коров симментальской породы в ООО «Агрофирма «Рубеж»
Duration of productive use and lifetime productivity of Simmental cows in ООО «Agrofirma Rubezh»

Показатель	$M \pm m$,	C_v
Продолжительность жизни, дн.	2696,41±40,77	34,15
Продолжительность продуктивного использования, дн.	1558,43±40,91	59,63
Пожизненный удой, кг	19643,85±520,15	59,79
Кол-во молочного жира, кг	751,47±19,83	59,62
Кол-во молочного белка, кг	644,91±17,11	59,92

Анализ выбывших животных из стада свидетельствует, что средняя продолжительность жизни коров составила 2696,41 дня. Средняя продолжительность продуктивного долголетия была 1558,43 дней, а пожизненный удой коров за период с 2020–2022 гг. составил 19643,85 кг молока, количество полученного молочного жира и белка 751,47 и 644,91 кг. Коэффициент вариации

по этим показателям отличается широкой амплитудой изменчивости – 59 и 60 %, что говорит о существенных отличиях некоторых животных от средних величин.

В результате исследований определена разная степень влияния интенсивности раздоя коров на продолжительность продуктивного использования и пожизненную продуктивность (табл. 2).

Таблица 2

Влияние уровня раздоя коров-первотелок на молочную продуктивность и продуктивное использование ($M \pm m$)
The influence of the level of milk yield of first-calf cows on milk productivity and productive use ($M \pm m$)

Показатель	Классы продуктивности, кг			
	4000–5000	5001–6000	6001–7000	7001 и более
1	2	3	4	5
Коровы, гол.	153	199	91	67
Продолжительность жизни, дн.	2825,49±81,54	2648,20±66,43	2644,18±81,12	2615,75±100,7
Продолжительность продуктивного использования, дн.	1670,51±84,99	1504,77±65,64	1518,65±80,9	1515,88±95,54
Пожизненная продуктивность по удою:	20229,31±1099,86	19696,35±866,82	18049,29±841,95	20316,73±1175,58
Содержание жира, %	3,84±0,01	3,83±0,00	3,80±0,00	3,84±0,01
Содержание белка, %	3,27±0,00	3,28±0,00	3,28±0,00	3,28±0,00
Кол-во молочного жира, кг	776,80±42,05	754,04±33,07	685,19±31,61	780,92±38,61

1	2	3	4	5
Кол-во молочного белка, кг	661,40±36,19	646,36±28,59	592,16±27,69	666,36±38,61
Удой за все лактации в среднем	5122,39±41,66	5427,15±36,15	5390,62±80,20	6636,21±93,3***
Удой за 1 лактацию, кг	4671,75±28,12	5459,1±22,35	6370,24±29,14	8028,69±138,35
Удой на 1 день жизни, кг	7,16±0,20	7,44±0,15	6,83±0,16	7,77±0,23***
Удой на 1 день продуктивного использования, кг	12,11±0,25	13,09±0,20	11,88±0,23	13,4±0,49*
Возраст в лактациях	3,89±0,21	3,62±0,15	3,48±0,18	3,16±0,21*
Коэф. хозяйственного использования, %	53,42±1,44	52,29±1,08	54,26±1,4	54,77±1,64

У коров-первотелок со средним удоём за первую лактацию 4000–5000 кг молока продолжительность жизни была выше на 177,29; 181,31 и 209,74 дней, чем у сверстниц с классом продуктивности 5001–6000; 6001–7000 и 7001 и более килограммов молока при недостоверной разнице между группами.

Первотелки I группы имели и более продолжительный период продуктивного использования – 1670,51 дней, что выше на 165,74; 151,86 и 154,63 дня ($P \leq 0,95$) коров II, III и IV групп соответственно.

От коров I группы со средней продолжительностью продуктивного долголетия 3,89 лактации было получено 20229,31 кг молока, молочного жира 776,8 кг, молочного белка 661,4 кг, а от животных IV группы за 3,16 лактаций получено 20316,73 кг молока, 780,92 кг жира и 666,36 кг молочного белка. В изучаемых группах II и III пожизненная продуктивность составила соответственно 19696,35 и 18049,29 кг молока, 754,04 и 685,19 кг молочного жира, 646,36 и 592,16 кг молочного белка.

Средний удой за все лактации был значительно выше у особей IV группы (7000 кг и более) 6636,21 кг, что выше чем в I, II, III группах на 1513,82; 1209,06 и 1245,59 кг молока, или 29,56; 22,28 и 23,11 % ($P \geq 0,999$).

Коровы IV группы с классом продуктивности 7001 кг молока и более на 1 день жизни 7,77 кг имели выше и пожизненную продуктивность 20316,73 кг молока и превосходили по удою на 1 день жизни коров с классом продуктивности 4000–5000 на 8,5 % ($P \geq 0,95$), коров с классом продуктивности 5001–6000 на 4,4 % ($P \leq 0,95$), коров с классом продуктивности 6001–7000 на 13,76 % ($P \geq 0,999$).

Максимальный удой на первый день продуктивного использования показали животные IV группы 13,4 кг и превосходили коров I, II, III группы на 10,65 % ($P \geq 0,95$), 2,37 % ($P \leq 0,95$) и 12,79 % ($P \geq 0,999$).

Между группами по коэффициенту хозяйственного использования (КХИ) разница была незначительной и находилась в пределах 53,42–54,77 %.

Однако более высокий КХИ – 54,77 % был в группе с классом продуктивности «7000 кг и более».

Таким образом, в результате исследований установлено влияние интенсивности раздоя коров-первотелок на продолжительность продуктивного использования коров симментальской породы. С увеличением удоя за первую лактацию наблюдалось сокращение количества использованных лактаций с 3,89 до 3,16. Установлена статистически значимая разница по продуктивному долголетию у первотелок между I и IV группами на 0,73 лактаций ($P \geq 0,95$).

Снижение пожизненной продуктивности в связи с уменьшением срока продуктивного использования не подтвердилось. Так, от животных с классом продуктивности «7001 кг молока и более» за 3,16 лактаций получен более высокий пожизненный удой в сравнении с подопытными группами – 20316,73 кг.

Средняя молочная продуктивность и количество выбывших коров по лактациям представлены на рис. 3–6.

За исследуемый период в первой группе из дойного стада выбыло 30 % коров, из них 20,98 % после четвертой лактации (рис. 2).

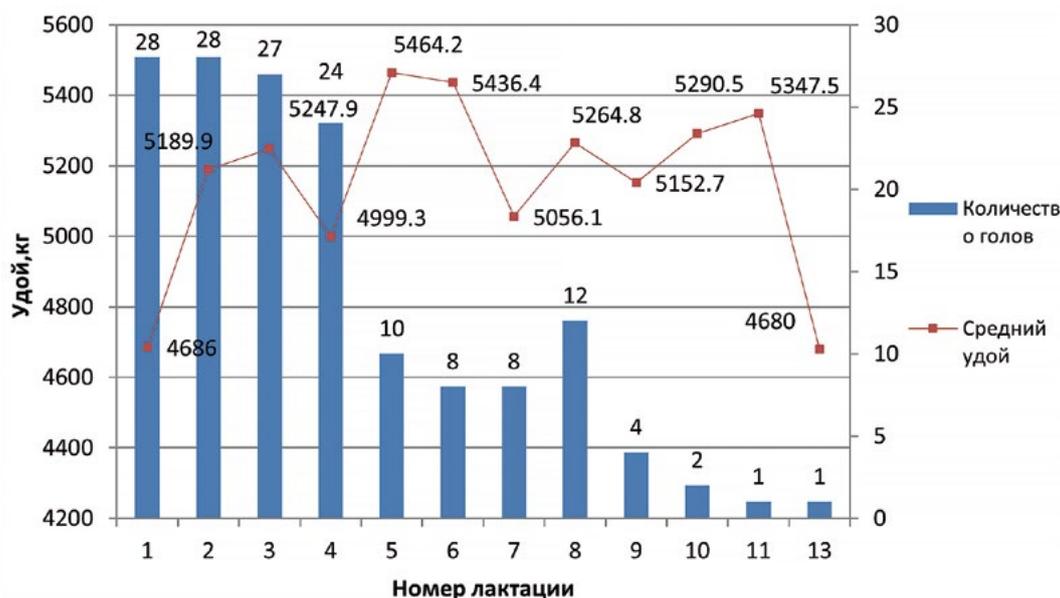


Рис. 2. Возрастная динамика продуктивности коров в группе с классом продуктивности «4000–5000 кг»
Age dynamics of cow productivity in the group with the productivity class “4000–5000 kg”

Удой в группе увеличивались до третьей лактации, затем идут колебания в сторону увеличения и снижения в пределах 112–465 кг.

Коровы I группы показывают наивысшую продуктивность по пятой полновозрастной лактации.

Во II группе выбыло от всего исследуемого поголовья 39,02 % (199 голов), из них 29,02 % (148 голов) после четвертой лактации (см. рис. 3).

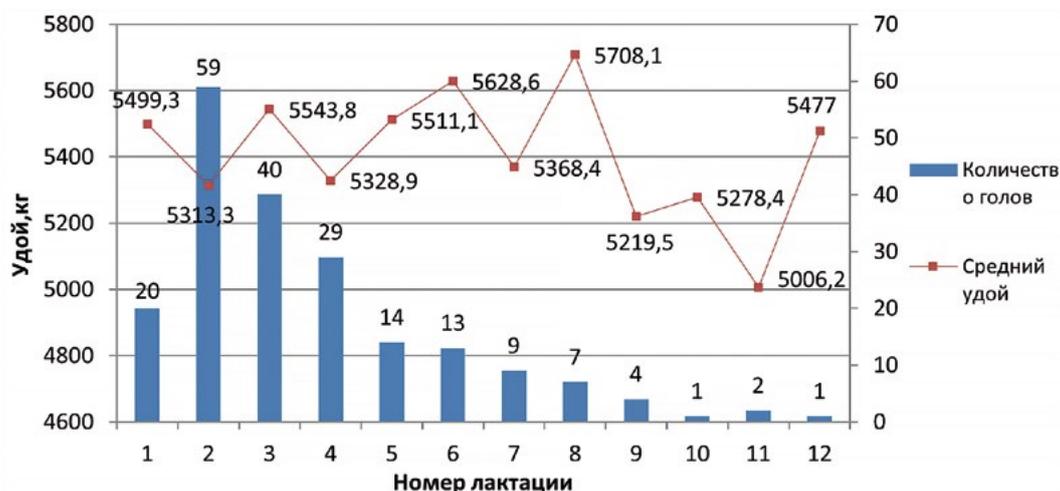


Рис. 3. Возрастная динамика продуктивности коров в группе с классом продуктивности «5000–6000 кг»
Age dynamics of cow productivity in the group with the productivity class “5000–6000 kg”

Динамика молочной продуктивности коров не стабильна, имеет средние колебания в сторону увеличения и снижения в пределах 117–339,7 кг, а наивысшую продуктивность – 5708,1 кг молока коровы II группы показывают по восьмой лактации.

Отдельные коровы содержались в хозяйстве 11–13 лактаций, так, например, корова Рыжуля

400 содержалась в хозяйстве 18 лет 272 дня. За период ее продуктивного использования (14 лет 313 дней) пожизненный удой составил 59980 кг, КМЖ и КМБ – 2263,65 и 2011,73 кг.

Корова Дубрава прожила 14 лет 128 дней и за 11 лактаций ее пожизненная продуктивность составила: по удою 58823 кг, КМЖ и КМБ – 2192,92 и 1917,63 кг. Корова Красотка 139 прожила 16 лет

и 187 дней, удой за 13 лактаций составил 60841 кг, КМЖ и КМБ – 2303,44 и 1982,2 кг.

Динамика молочной продуктивности в III группе (см. рис. 4) спадала до 4-й лактации, затем

увеличивалась с незначительными колебаниями. 17,84 % – выбывших животных по группе, из них 11,37 % выбыло уже после 3-й лактации.

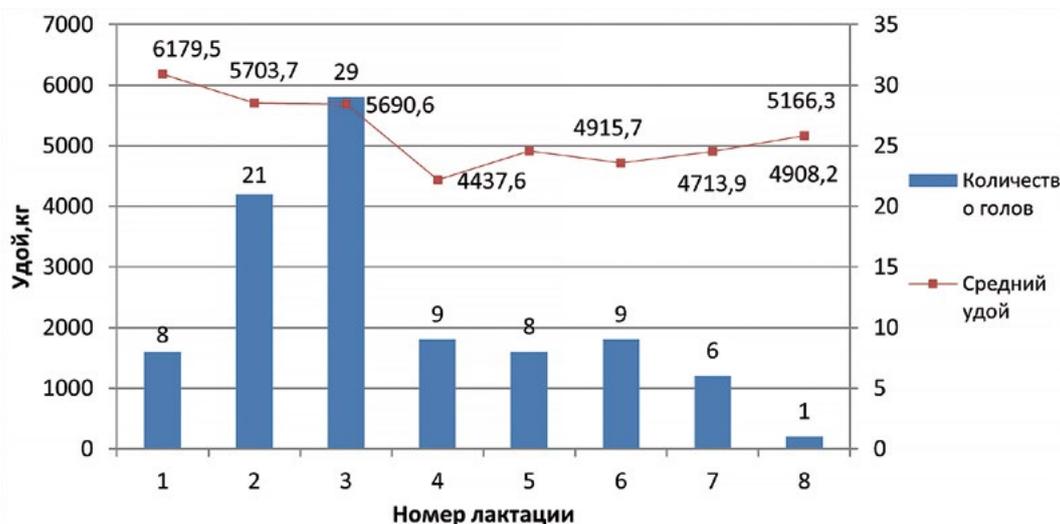


Рис. 4. Возрастная динамика продуктивности коров с классом продуктивности «6000–7000 кг»
Age dynamics of productivity of cows with productivity class “6000–7000 kg”

В IV группе выбыли 13,14 % дойных коров, из них 9,02 % после третьей лактации, средние показатели по удою снижались с первой и до

последней лактации. Наивысшая продуктивность по удою в IV группе наблюдается при раздое коров в первую лактацию 7865,1 кг (см. рис. 5).

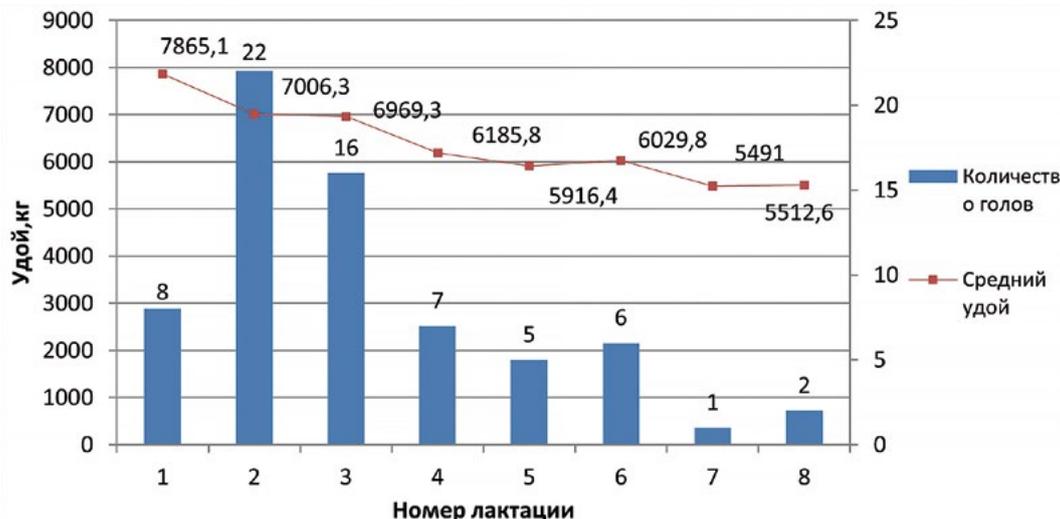


Рис. 5. Возрастная динамика продуктивности коров в группе с классом продуктивности «7000 кг и более»
Age dynamics of cow productivity in the group with the productivity class “7000 kg and more”

Таким образом, в хозяйстве молочный скот симментальской породы способен содержаться до 13 лактаций, что говорит о возможности длительного использования коров в стаде. В среднем продуктивное долголетие составило 3,54 лактации. Тот факт, что с увеличением лактаций повышаются удои в среднем до пятой-шестой лактации, в данном исследовании подтверди-

лась частично в I группе до третьей лактации. В основном динамика молочной продуктивности коров была нестабильна, имели место колебания относительно средних показателей удоев в сторону увеличения или снижения в каждой группе. Возможно, на динамику молочной продуктивности коров оказали влияния условия содержания, кормления или эксплуатации. Наиболее обильно-

молочными были коровы IV группы, несмотря на то, что по числу лактаций они уступали остальным группам, их молочная продуктивность по

удой превосходила с первой по шестую лактации I, II и III группу в среднем на 1491,47; 1191,29 и 1388,62 кг соответственно.

Таблица 3

Взаимосвязь хозяйственно полезных признаков и параметры продуктивного использования коров
The relationship between economically useful traits and parameters of productive use of cows

	Коррелирующий признак	$r \pm m_r$
Продолжительность продуктивного использования, дн.	Возраст в лактациях	0,92±0,01***
	Пожизненный удой, кг	0,93±0,01***
	Продолжительность жизни, дн.	0,97±0,01***
	Удой за первую лактацию, кг	-0,09±0,03**
	Кол-во молочного жира, кг	0,92±0,01***
	Кол-во молочного белка, кг	0,93±0,01***
	Удой на 1 день продуктивного использования, кг	-0,23±0,03***
Продолжительность жизни, дн.	Удой на 1 день жизни, кг	0,71±0,02***
	Возраст в лактациях	0,89±0,01***
	Пожизненный удой, кг	0,90±0,01***
	Удой за первую лактацию, кг	-0,10±0,03***
	Кол-во молочного жира, кг	0,89±0,01***
	Кол-во молочного белка, кг	0,90±0,01***
	Удой на 1 день продуктивного использования, кг	-0,24±0,03***
Возраст в лактациях	Удой на 1 день жизни, кг	0,64±0,02***
	Пожизненный удой, кг	0,97±0,01***
	Удой за первую лактацию, кг	-0,14±0,03***
	Кол-во молочного жира, кг	0,97±0,01***
	Кол-во молочного белка, кг	0,97±0,01***
	Удой на 1 день продуктивного использования, кг	-0,01±0,03
Удой за первую лактацию, кг	Удой на 1 день жизни, кг	0,83±0,01***
	Пожизненный удой, кг	-0,04±0,03
	Кол-во молочного жира, кг	-0,03±0,03
	Кол-во молочного белка, кг	-0,04±0,03
	Удой на 1 день продуктивного использования, кг	0,20±0,03***
Удой на 1 день продуктивного использования, кг	Удой на 1 день жизни, кг	0,12±0,03***
	Удой на 1 день жизни, кг	0,32±0,03***

Из данных, представленных в табл. 3, видно, что при анализе взаимосвязи коррелирующих признаков, таких как продолжительность продуктивного использования с возрастом в лактациях ($r = +0,92^{***}$), с пожизненным удоём ($r = +0,93^{***}$), с продолжительностью жизни ($r = +0,97^{***}$), с количеством молочного жира, белка ($r = +0,92^{***}$, $r = +0,93^{***}$), с удоём на 1 день жизни ($r = +0,71^{***}$), прослеживается прямая тесная положительная взаимосвязь, а по таким, как удой за первую лактацию ($r = -0,09$) и удой на 1 день продуктивного использования ($r = -0,23$) – слабая отрицательная при $P \geq 0,99-0,999$.

По степени воздействия показателя, характеризующего продолжительность жизни животного, отмечали взаимосвязь прямолинейную сильную с такими признаками, как: возраст в лактациях ($r = +0,89^{***}$), пожизненный удой ($r = +0,90^{***}$), количество молочного жира и белка ($r = 0,89^{***}$ и $r = 0,90^{***}$), удой на 1 день жизни ($r = 0,64^{***}$). Слабая обратная корреляционная связь была с удоём за первую лактацию и удоём на один день продуктивного использования ($r = -0,10^{***}$ и $r = -0,24^{***}$).

Возраст в лактациях, который отражает продолжительность лактационного периода

животного, показывает, что с такими признаками, как пожизненный удой ($r = +0,97^{***}$), количество молочного жира и молочного белка ($r = +0,97^{***}$ и $r = +0,97^{***}$), удой на один день жизни ($r = +0,83^{***}$) взаимосвязь сопряженных признаков высоко достоверная, положительная. Характеристика зависимости «возраста в лактациях» с «удоем за первую лактацию» составил – ($r = -0,14$) при $P \geq 0,999$ и удоем на день продуктивного использования ($r = -0,01$), аналогично, как и при анализе с «продолжительностью продуктивного использования» и «продолжительностью жизни».

В целом по выборке признаков коэффициент корреляции по «удою за первую лактацию» характеризовался отрицательной корреляционной связью между такими показателями, как пожизненный удой ($r = -0,05$), количество молочного жира и белка ($r = -0,03$; $-0,04$), а вот с таким показателем, как удой на один день продуктивного использования и удой на один день жизни ($r = 0,20$ и $0,12$), при высоком пороге достоверности ($P \geq 0,999$), отличались. Между удоем на один день продуктивного использования и удоем на один день жизни отмечалась прямая положительная связь ($r = +0,32^{***}$).

Таким образом, тесная положительная связь по таким признакам, как продолжительность продуктивного использования, продолжительность жизни и возраст в лактациях может позволить увеличить эффективность селекции при отборе и способствовать росту продолжительности использования коров в стаде.

ВЫВОДЫ

По результатам исследования установлено влияние интенсивности раздоя первотелок на продолжительность продуктивного использования коров симментальской породы:

1. С увеличением удоя за первую лактацию наблюдалось сокращение количества использованных лактаций с 3,89 до 3,16. Между животными с уровнем продуктивности 4000–5000 кг и более 7001 кг установлена статистически значимая разница по продуктивному долголетию на 0,73 лактаций ($P \geq 0,95$).

2. От животных с классом продуктивности 7001 кг молока и более за 3,16 лактаций получен более высокий пожизненный удой – 20316,73 кг, разница по этому показателю в сравнении с I, II и III группой составила 87,42, 620,38 и 2267,44 кг. Средний удой за все лактации в IV группе был 6636,21 кг, что достоверно выше средних показателей коров I, II и III групп на 29,55; 22,28 и 23,11 % ($P \geq 0,999$), а разница по удою на один день жизни и на один день продуктивного использования соответственно составила 8,52 % ($P \geq 0,95$); 4,44% ($P \leq 0,95$); 13,76 % ($P \geq 0,999$) и 10,65 % ($P \geq 0,95$); 2,37 % ($P \leq 0,95$); 13,56 % ($P \geq 0,99$).

3. При сравнительной оценке динамики молочной продуктивности между группами выявлено превосходство по удою с первой по шестую лактацию у первотелок IV группы в сравнении с I, II и III на 1491,47; 1191,29 и 1388,62 кг соответственно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бекенев В.А. Продуктивное долголетие животных, способы его прогнозирования и продления // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54, № 4. – С. 655–656. – DOI: 10.15389/agrobology.2019.4.655rus.
2. Татуева О.В. Потенциал продуктивности и долголетия коров голштинской породы в условиях Смоленской области // Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. – 2024. – Т. 4, № 4(14). – С. 58–67. – DOI: 10.54016/SVITOK.2024.46.19.008.
3. Холодова Л.В. Связь воспроизводительной способности с продуктивным долголетием коров // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2021. – № 2(59). – С. 167–174. – DOI: 10.31677/2072-6724-2021-59-2-167-174.
4. *The transition cow: may the odds be ever in her favor* / Y. Schuermann, A. St-Yves, N. Dicks [et al.] // Journal of Animal Science. – 2016. – 94 (suppl. 5). – P. 234–235. – DOI: 10.2527/jam2016-0488.
5. Крупин Е.О., Шакиров Ш.К. Продуктивное долголетие коров: влияние метаболитов обмена веществ на репродуктивную функцию // Молочное и мясное скотоводство. – 2020. – № 8. – С. 19–22. – DOI: 10.33943/MMS.2020.52.75.005.
6. Белова С.Н., Плешков В.А. Продуктивное долголетие коров в зависимости от способа содержания // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 2(67). – С. 142–147. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-142-148.
7. Лебедько Е.Я., Санбуров Н.В. Факториальная обусловленность и зависимость длительного продуктивного использования молочных коров // Животноводство и кормопроизводство. – 2018. – Т. 101, № 4. – С. 233–237.
8. Крупицын В.В., Котарев В.И. Показатели молочной продуктивности коров, разводимых в хозяйствах Воронежской области, с учетом анализа основных технологических причин их выбраковки // Вестник

- ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 4(52). – С. 232–239. – DOI: 10.18286/1816-4501-2020-4-232-239.
9. *Economic costs of recorded reasons for cow mortality and culling in a pasture-based dairy industry* / J.I. Kerslake, P.R. Amer, P.L. O’Neil [et al.] // *J. Dairy Sci.* – 2018. – № 101(2). – P. 1795–1803. – DOI: 10.3168/jds.2017-13124.
 10. *Шевелева О.М.* Продолжительность хозяйственного использования коров в зависимости от уровня молочной продуктивности за первую лактацию // *Агропродовольственная политика России.* – 2020. – № 6. – С. 16–19. – DOI: 10.31040/2222-8349-2018-6-3-80-82.
 11. *Востролов А.В., Артемов Е.С., Капустин С.И.* Адаптация и производственное долголетие импортного крупного рогатого скота в условиях промышленного комплекса // *Молочное и мясное скотоводство.* – 2022. – № 4. – С. 26–30. – DOI: 10.33943/MMS.2022.19.80.004.
 12. *Shabalina T., Yin T., König S.* Influence of common health disorders on the length of productive life and stayability in German Holstein cows // *Journal of Dairy Science.* – 2020. – № 103(1). – P. 583–596. – DOI: 10.3168/jds.2019-16985.
 13. *Vries A.D., Marcondes M.I.* Review: overview of factors affecting productive lifespan of dairy cows. // *Animal.* – 2020. – № 14(S1). – P. 155–164. – DOI: 10.1017/S1751731119003264.
 14. *Яранцева С.Б., Герасимчук Л.Д., Шишкина М.А.* Влияние интенсивности выращивания телок на их последующую молочную продуктивность и продолжительность хозяйственного использования // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет).* – 2018. – № 1(46). – С. 113–119.
 15. *Санова З.С.* Прогноз продуктивного долголетия голштинских коров по косвенным признакам // *Молочное и мясное скотоводство.* – 2020. – № 4. – С. 22–26. – DOI: 10.33943/MMS.2020.55.90.006.
 16. *Руденко О.В.* Влияние кровности по улучшающим породам на продуктивное долголетие в красной горбатовской породе // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии.* – 2024. – № 3(67). – С. 182–186. – DOI: 10.18286/1816-4501-2024-3-182-186.
 17. *Тулинова О.В., Анистенюк С.В.* Взаимосвязь интенсивности развития телок с долголетием и причинами выбытия коров айрширской породы // *Молочное и мясное скотоводство.* – 2020. – № 4. – С. 17–21. – DOI: 10.33943/MMS.2020.52.77.005.
 18. *Keeping Dairy Cows for Longer: A Critical Literature Review on Dairy Cow Longevity in High Milk-Producing Countries* / Gabriel M. Dallago, Kevin M. Wade, Roger I. Cue [et al.]. – 2021. – № 11(3). – P. 808. – DOI: 10.3390/ani11030808.
 19. *Wright J.R., VanRaden P.M.* Genetic evaluation of dairy cow livability // *Journal of Animal Science.* – 2016. – Vol. 94. – P. 178–178. – DOI: 10.2527/jam2016-0368.
 20. *Влияние генотипических и паратипических факторов на продуктивное долголетие черно-пестрого скота* / В.К. Пестис, С.И. Коршун, Н.Н. Климов [и др.] // *Доклады Национальной академии наук Беларуси.* – 2016. – Т. 60, № 4. – С. 120–126.
 21. *Часовщикова М.А., Садыкова Я.А.* Влияние генотипических факторов на продуктивное долголетие и пожизненную продуктивность коров голштинской породы // *Современные проблемы паразитарной патологии и иммунологии: сб. мат-лов Междунар. науч.-практ. конф. Тюмень, 2023.* – С. 207–213.
 22. *Менищikov Н.Н., Чеченихина О.С., Смирнова Е.С.* Продуктивное долголетие коров голштинской породы разных линий в условиях интенсивных технологий // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии.* – 2024. – № 1(65). – С. 170–177. – DOI: 10.18286/1816-4501-2024-1-170-177.
 23. *Чушшева Н.Ю., Карамеева А.С., Карамеев С.В.* Продуктивное долголетие коров черно-пестрой породы широкотелого и узкотелого типов телосложения // *Молочное и мясное скотоводство.* – 2020. – № 6. – С. 18–23. – DOI: 10.33943/MMS.2020.29.39.004.
 24. *Терентьева Н.А., Дунин И.М., Шичкин Г.И.* Паратипические и генотипические факторы в оценке продуктивного долголетия коров красно-пестрой породы Красноярского края // *Молочное и мясное скотоводство.* – 2022. – № 6. – С. 18–22. – DOI: 10.33943/MMS.2022.23.20.003.
 25. *Продуктивное долголетие коров симментальской породы в зависимости от величины удоя, способа содержания и быков-отцов из разных стран* / Г.Н. Левина, М.В. Зелепукина, Т.Н. Руднева [и др.] // *Молочное и мясное скотоводство.* – 2020. – № 3. – С. 11–16. – DOI: 10.33943/MMS.2020.85.15.003.

REFERENCES

1. Bekenev V.A., *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2019, Vol. 54, No. 4, pp. 655–656, DOI: 10.15389/agrobiol.2019.4.655rus. (In Russ.)
2. Tatieva O.V., *Tekhnicheskie kul'tury. Nauchnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*, 2024, Vol. 4, No. 4(14), pp. 58–67, DOI: 10.54016/SVITOK.2024.46.19.008. (In Russ.)
3. Kholodova L.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2021, No. 2(59), pp. 167–174, DOI: 10.31677/2072-6724-2021-59-2-167-174. (In Russ.)
4. Schuermann Y., St-Yves A., Dicks N., Bohrer R. C., Mondadori R., Welsford G., Boyer V., Taibi M., Higginson V., Hartley S., Madogwe E., Bordignon V., Baurhoo B., Duggavathi R., The transition cow: may the odds be ever in her favor, *Journal of Animal Science*, 2016, 94 (suppl. 5), pp. 234-235 (doi: 10.2527/jam2016-0488).

5. Krupin E.O., Shakirov Sh.K., *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*, 2020, No. 8, pp. 19–22, DOI: 10.33943 / MMS.2020.52.75.005. (In Russ.)
6. Belova S.N., Pleshkov V.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2023, No. 2(67), pp. 142–147, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-142-148. (In Russ.)
7. Lebedko E.Ya., Sanburov N.V., *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2018, Vol. 101, No. 4, pp. 233–237. (In Russ.)
8. Krupitsyn V.V., Kotarev V.I., *Vestnik ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2020, No. 4(52), pp. 232–239, DOI: 10.18286/1816-4501-2020-4-232-239. (In Russ.)
9. Kerslake, J.I., Amer, P.R., O'Neil, P.L., Wong, S.L., Roche, J.R., Phyn C.V.C., Economic costs of recorded reasons for cow mortality and culling in a pasture-based dairy industry, *J. Dairy Sci.*, 2018, No. 101, pp. 1795–1803, DOI: 10.3168/jds.2017-13124.
10. Sheveleva O.M., *Agroprodovol'stvennaya politika Rossii*, 2020, No. 6, pp. 16–19, DOI: 10.31040/2222-8349-2018-6-3-80-82. (In Russ.)
11. Vostroilov A.V., Artemov E.S., Kapustin S.I., *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*, 2022, No. 4, pp. 26–30, DOI: 10.33943/MMS.2022.19.80.004. (In Russ.)
12. Shabalina T., Yin T., König S., Influence of common health disorders on the length of productive life and stayability in German Holstein cows, *Journal of Dairy Science*, 2020, No. 103(1), pp. 583–596, DOI: 10.3168/jds.2019-16985.
13. Vries, A.D., Marcondes M.I., Review: overview of factors affecting productive lifespan of dairy cows, *Animal*, 2020, No. 14, pp. 155–164, DOI: 10.1017/S1751731119003264.
14. Yarantseva S.B., Gerasimchuk L.D., Shishkina M.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2018, No. 1(46), pp. 113–119. (In Russ.)
15. Sanova Z.S., *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*, 2020, No. 4, pp. 22–26, DOI: 10.33943/MMS.2020.55.90.006. (In Russ.)
16. Rudenko O.V., *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2024, No. 3(67), pp. 182–186, DOI: 10.18286/1816-4501-2024-3-182-186. (In Russ.)
17. ulinova O.V., Anistenok S.V., *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*, 2020, No. 4, pp. 17–21, DOI: 10.33943 / MMS.2020.52.77.005. (In Russ.)
18. Gabriel M. Dallago, Kevin M. Wade, Roger I. Cue and al., Keeping Dairy Cows for Longer: A Critical Literature Review on Dairy Cow Longevity in High Milk-Producing Countries, *Animals*, 2021, No. 11(3), pp. 808, DOI: 10.3390/ani11030808.
19. Wright J.R., VanRaden P.M., Genetic evaluation of dairy cow livability, *Journal of Animal Science*, 2016, Vol. 94, pp. 178–178, DOI: 10.2527/jam2016-0368.
20. Pestis V.K., Korshun S.I., Klimov N.N. et al., Influence of genotypic and paratypic factors on the productive longevity of Black-and-White cattle, *Reports of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2016, Vol. 60, No. 4, pp. 120–126. (In Russ.)
21. Chasovshchikova M.A., Sadykova Ya.A., *Sovremennyye problemy parazitarnoy patologii i immunologii* (Modern problems of parasitic pathology and immunology), Proceedings of the Conference Title, Tyumen', 2023, pp. 207–213. (In Russ.)
22. Menshchikov N.N., Chechenikhina O.S., Smirnova E.S., *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2024, No. 1(65), 170–177, DOI: 10.18286/1816-4501-2024-1-170-177. (In Russ.)
23. Chupsheva N.Yu., Karamaeva A.S., Karamaev S.V., *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*, 2020, No. 6, pp. 18–23, DOI: 10.33943/MMS.2020.29.39.004. (In Russ.)
24. Terent'eva N.A., Dunin I.M., Shichkin G.I., *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*, 2022, No. 6, pp. 18–22, DOI: 10.33943/MMS.2022.23.20.003. (In Russ.)
25. Levina G.N., Zelepukina M.V., Rudneva T.N. [i dr.], *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*, 2020, No. 3, pp. 11–16, DOI: 10.33943/MMS.2020.85.15.003. (In Russ.)

Информация об авторах:

В.А. Дунина, кандидат сельскохозяйственных наук

Е.Р. Гостева, доктор сельскохозяйственных наук

Contribution of the authors:

V.A. Dunina, Cand. Agricult. Sciences

E.R. Gosteva, Doct. Agricult. Sciences

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ОСОБЕННОСТИ ТАКСОНОМИИ МЕДОНОСНОЙ ПЧЕЛЫ *APIS MELLIFERA*^{1,2}Р.А. Ильясов, ¹А.Ю. Ильясова, ³В.Н. Саттаров¹Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, Москва, Россия²Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия³Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, Уфа, Россия

E-mail: wener5791@yandex.ru

Для цитирования: Ильясов Р.А., Ильясова А.Ю., Саттаров В.Н. Особенности таксономии медоносной пчелы *Apis mellifera* // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 170–185. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-170-185.

Ключевые слова: медоносная пчела, подвиды, систематика, таксономия, методы идентификации.

Реферат. Таксономическая классификация медоносной пчелы (*Apis mellifera*) представляет собой сложную задачу, обусловленную рядом факторов. Среди них выделяются гибридизация между подвидами, размытость границ их ареалов, несовершенство методов идентификации и интенсивное антропогенное воздействие. Эти факторы существенно затрудняют классификацию и систематизацию подвидов, что делает проблему актуальной для исследований. В статье описывается распределение 30 подвидов медоносной пчелы по шести эволюционным линиям (А с подлиниями Z, M, C и O с X, Y). Ареал вида охватывает три региона: Африку (11 подвидов), Западную Азию и Ближний Восток (7 подвидов), а также Европу (12 подвидов). Особое внимание уделяется переходным зонам, таким как Средиземноморье, где гибридизация между различными подвидами приводит к формированию популяций с промежуточными морфометрическими и генетическими характеристиками, что усложняет их систематизацию. Пчеловодство, как антропогенная деятельность, оказывает значительное влияние на распространение подвидов за пределы их естественных ареалов. Примером служит интродукция итальянской пчелы (*A. m. ligustica*) и краинской пчелы (*A. m. carnica*) в Северную и Западную Европу, вызвавшая генетическое смешение с популяциями темной лесной пчелы (*A. m. mellifera*). Современные методы исследования, такие как секвенирование генома и фрагментный анализ микросателлитных локусов, позволяют проводить детальный анализ эволюционных связей между подвидами. Однако механизмы адаптации пчел к различным экологическим условиям недостаточно изучены. Генетическая и морфологическая характеристика подвидов играет ключевую роль в определении их таксономического статуса. Для сохранения генетического разнообразия пчел необходимо снижение антропогенного воздействия и контроль за гибридизацией в пограничных зонах. Это позволит сохранить уникальные генетические линии и адаптивные способности пчел, что имеет большое значение для сохранения биоразнообразия и развития пчеловодства.

TAXONOMICAL FEATURES OF THE HONEY BEE *APIS MELLIFERA*^{1,2}R.A. Piyasov, ¹A.Yu. Piyasova, ³V.N. Sattarov¹Institute of Developmental Biology. N.K. Koltsova RAS, Moscow, Russia²Russian State Agrarian University - MSKHA named after K.A. Timiryazeva, Moscow, Russia³Bashkir State Pedagogical University. M. Akmully, Ufa, Russia

E-mail: wener5791@yandex.ru

Keywords: honey bee, subspecies, systematics, taxonomy, identification methods.

Abstract. Taxonomic classification of the honey bee (*Apis mellifera*) is a complex task caused by a number of factors. Among them are hybridization between subspecies, blurred boundaries of their ranges, imperfect identification methods and intense anthropogenic impact. These factors significantly complicate the classification and systematization of subspecies, which makes the problem relevant for research. The article describes the distribution of 30 subspecies of honey bee in six evolutionary lines (A with sublineages Z, M, C and O with X, Y). The species range covers three regions: Africa (11 subspecies), West Asia and the Middle East (7 subspecies), and Europe (12 subspecies). Particular attention is paid to transitional zones, such as the Mediterranean, where hybridization between different subspecies leads to the formation of populations with intermediate morphometric and genetic characteristics, which complicates their systematization. Beekeeping, as an anthropogenic activity,

has a significant impact on the spread of subspecies beyond their natural ranges. An example is the introduction of the Italian honeybee (*A. m. ligustica*) and the Carniolan honeybee (*A. m. carnica*) to Northern and Western Europe, which caused genetic mixing with populations of the dark forest honeybee (*A. m. mellifera*). Modern research methods, such as genome sequencing and fragment analysis of microsatellite loci, allow for a detailed analysis of the evolutionary relationships between subspecies. However, the mechanisms of bee adaptation to various environmental conditions are insufficiently studied. Genetic and morphological characteristics of subspecies play a key role in determining their taxonomic status. To preserve the genetic diversity of bees, it is necessary to reduce anthropogenic impact and control hybridization in border zones. This will preserve the unique genetic lines and adaptive abilities of bees, which is of great importance for the conservation of biodiversity and the development of beekeeping.

Медоносная пчела (*Apis mellifera*) является одним из наиболее изученных видов насекомых, что обусловлено ее экономической значимостью как основного опылителя растений и производителя меда, воска и других продуктов пчеловодства. Однако идентификация подвидов этого вида остается сложной задачей, обусловленной географическим распространением, морфологическими и генетическими различиями между популяциями [1–3].

Первоначальное описание вида *Apis mellifera* было выполнено Карлом Линнеем в середине XVIII в., что заложило основу для дальнейшего изучения этого таксона [4]. В XIX и XX вв., благодаря развитию морфометрических методов и аллозимного анализа, было установлено, что данный вид представлен 20–30 подвидами, которые дифференцируются по внешним морфологическим признакам – длина и ширина тергита, стернита, правого переднего крыла и др. [5–9]. Исследователи разделили эти подвиды на три эволюционные группы, основываясь на морфологических признаках: А, М и С [10, 11].

Однако дальнейшие исследования продемонстрировали, что морфометрические параметры зачастую не являются надежным индикатором генетической изоляции популяций. Это объясняется высокой степенью изменчивости количественных признаков, обусловленной комплексным воздействием экологических факторов. Исследования в области популяционной биологии выявили, что морфометрические характеристики, такие как размеры и форма организмов, могут значительно варьироваться даже в пределах одной популяции, что затрудняет использование этих параметров для оценки генетической изоляции. Экологические условия, такие как климат и доступность ресурсов, оказывают существенное влияние на

формирование морфологических признаков. В результате даже близкородственные популяции, обитающие в разных экологических нишах, могут демонстрировать значительные различия в своих показателях [1].

Молекулярная биология второй половины XX в. произвела революцию в таксономических исследованиях, кардинально изменив методологические подходы и концептуальные основы классификации живых организмов. Введение методов молекулярного анализа, таких как полимеразная цепная реакция (ПЦР), секвенирование ДНК и сравнение нуклеотидных последовательностей, позволило значительно повысить точность и объективность классификаций. Данные методы позволили ученым не только верифицировать существующие таксономические схемы, но и выявить новые филогенетические связи между различными группами живых организмов, что существенно расширило наше понимание эволюционных процессов и структурной организации биоразнообразия на Земле. Так, Franck et al. и Meixner et al. предложили добавить к существующим линиям А, М и С новые О и У, что стало результатом исследований, проведенных на основе микросателлитов и генетических маркеров [12–15]. Эти методы показали, что некоторые морфологически различимые подвиды пчел принадлежат к одной эволюционной линии, тогда как другие, похожие внешне, генетически разнообразны [16].

Географическое распространение *Apis mellifera* усугубляет сложности классификации. Подвиды часто описываются как географические расы, что приводит к нечетким границам между их ареалами. В Африке, например, популяции *A. m. adansonii* и *A. m. jemenitica* демонстрируют гибридные черты, что затрудняет их разграничение [17–19]. В Европе и на

Ближнем Востоке наблюдается постепенное изменение признаков между *A. m. intermissa* и *A. m. iberiensis*, что связано с градиентными переходами как в геноме, так и в морфологии [20, 21]. Переходные зоны между популяциями, характеризующиеся смешением признаков, подтверждают поток генов между подвидами, что противоречит строгому таксономическому разделению [1].

Современные исследования в области систематики и филогенетики стремятся к интеграции морфометрических, аллозимных и молекулярных данных с целью создания унифицированной системы классификации. В частности, Smith и Brown [22] продемонстрировали, что комбинирование генетических и морфологических маркеров значительно повышает точность идентификации подвидов пчел. Тем не менее, несмотря на значительные достижения в методологии, даже комплексное применение этих подходов не решает всех вопросов. Гибридные формы, транспортировка пчелиных семей и повышенная генетическая гетерогенность продолжают оставаться источниками дискуссий относительно количества подвидов пчел и их эволюционных взаимоотношений. Эти вопросы требуют дальнейшего изучения и анализа с использованием более сложных моделей и методов, таких как геномное секвенирование и популяционная генетика, для более точного понимания таксономического разнообразия и эволюционных процессов в популяциях пчел [1].

В области систематики и таксономии медоносных пчел продолжают оставаться интенсивные дискуссии относительно целесообразности объединения или разделения линий O и Y, а также пересмотра границ между подвидами категориями в зонах симпатрии. Часть исследователей предлагает рассматривать гибридные популяции, такие как Бэкфаст и Приморская пчела, как самостоятельные таксономические единицы, что обусловлено их уникальными фенотипическими и генотипическими характеристиками. В то же время сторонники градуалистического подхода выступают за отказ от жесткой таксономической категоризации в пользу континуума генетических и феноти-

пических изменений, наблюдаемых в зонах смежных ареалов [20–25].

Антропогенные факторы, такие как активная транспортировка семей медоносных пчел из одних регионов в другие, значительно усложняют процесс сохранения естественных ареалов и генетических границ популяций. В результате наблюдается смешение генофондов, что затрудняет объективное определение границ между подвидами и их генетическими изолятами.

Современная таксономическая структура *Apis mellifera* остается неоднозначной. Интеграция данных, полученных в области биологии, морфометрии, генетики и экологии необходима для построения единой классификации, но требует дальнейшего развития и анализа. Молекулярные методы, такие как секвенирование полного генома, могут значительно уточнить эволюционные связи между подвидами, однако их применение в настоящее время ограничено объемом доступных данных [1–3].

Цель статьи – провести всесторонний анализ существующих методов идентификации подвидов медоносной пчелы, а также предложить классификацию медоносной пчелы, основанную на результатах морфометрических, аллозимных и генетических исследований.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТАКСОНОМИЧЕСКОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ПОДВИДОВ МЕДОНОСНОЙ ПЧЕЛЫ

Методы идентификации пчел демонстрируют значительное разнообразие в зависимости от применяемых подходов и технологических решений. В их числе выделяются морфометрические исследования, направленные на анализ внешних характеристик пчелиных особей, а также анализ аллозимов – изучение генетических маркеров, кодирующих ферменты.

Кроме того, современные молекулярные методы, такие как секвенирование ДНК, позволяют проводить высокоточный генетический анализ и выявлять генетические различия между пчелами (табл. 1).

Методы идентификации таксономической принадлежности медоносной пчелы *Apis mellifera*
Methods of taxonomic identification of the honey bee *Apis mellifera*

Метод	Описание	Автор
<i>Морфометрические методы</i>		
Измерение частей тела	Измерение 36 характеристик тела (длина, ширина крыльев, мандибул и других частей) для дискриминации подвидов	Ruttner (1988)
Анализ формы и жилкования крыльев	Классическая морфометрия крыльев использует 11 углов между 18 соединениями жилкования крыла, анализ формы с использованием методов DAWINO и геометрической морфометрии	DuPraw (1965), Bookstein (1991), Miguel et al. (2011)
<i>Биохимические методы на основе аллозимов</i>		
Малатдегидрогеназа (MDH1)	Фермент с семью аллелями, различия между подвидом	Smith & Glenn (1995)
Малик-энзим (ME)	Имеет четыре аллеля для определения подвидов	Sheppard & Berlocher (1985)
Эстераза (EST-3)	Фермент с восьмью аллелями для дискриминации подвидов	Ivanova et al. (2010)
Щелочная фосфатаза (ALP)	Фермент с тремя аллелями	Ivanova et al. (2010)
Фосфоглюкомутаза (PGM)	Имеет пять аллелей	Ivanova et al. (2010)
Гексокиназа (HK)	Полиморфизм с пятью аллелями	Del Lama et al. (1990)
<i>Методы на основе митохондриальной ДНК (мтДНК)</i>		
Полиморфизм длин рестриционных фрагментов (RFLP)	Анализ длины рестриционных фрагментов ДНК с помощью рестриционных ферментов	Smith & Brown (1988), Garnery et al. (1992)
Полиморфизм ПЦР-продуктов мтДНК	Аmplification ПЦР-продуктов с использованием специфических и случайных праймеров	Hunt & Page (1994), Suazo et al. (1998)
Секвенирование мтДНК	Поиск SNPs в мтДНК, включая межгенные последовательности (IGS)	Franck et al. (1998), Pinto et al. (2012, 2014)
<i>Методы на основе ядерной ДНК (ядНК)</i>		
Полиморфизм ПЦР-продуктов яДНК	Короткие tandemные повторы, STR	Estoup et al., 1995; Franck et al., 2001; Solignac et al., 2003
Секвенирование яДНК	Идентификация однонуклеотидных полиморфизмов (SNPs) в ядерной ДНК	Whitfield et al. (2006), Ilyasov et al. (2015)
Полногеномное секвенирование яДНК	Использование NGS для полного секвенирования генома	Weinstock et al. (2006), Wallberg et al. (2019)

Данные методы находят широкое применение в различных областях, включая пчеловодство, энтомологию и генетику, что подчеркивает их значимость для научного сообщества и практических приложений [1–3].

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Морфометрические методы идентификации подвидов медоносных пчел можно классифицировать на две основные категории: анализ количественных характеристик морфологических па-

раметров тела и детальное изучение структурных особенностей крыльев.

1. Измерение частей тела

Классическая морфометрия пчел включает детальное измерение 36 характеристик различных сегментов или частей их тела, таких как длина и ширина тергита, стернита, воскового зеркальца и т.д., параметры крыльев и хоботка, а также другие значимые метрические показатели [8].

2. Анализ формы крыльев

Существует несколько подходов к измерению крыльев:

Классическая морфометрия крыльев – метод фиксирует вариации в форме крыльев путем вычисления 11 углов между 18 соединениями жилкования крыла, что составляет подмножество из 17 углов [26].

Метод DAWINO (Discriminant Analysis with Numerical Output) – включает полный набор углов, используемых в классической морфометрии, дополненный семью линейными измерениями, пятью индексами и одной площадью. Метод позволяет более точно классифицировать подвиды, учитывая дополнительные параметры, которые могут быть полезны для идентификации [27].

Геометрическая морфометрия – использует координаты точек, известные как реперы, которые анализируются многомерными статистическими методами [28].

МЕТОДЫ НА ОСНОВЕ АЛЛОЗИМОВ

Представленные методы основаны на вариативности изоферментов и включают анализ полиморфизма различных ферментов у подвидов пчел:

Малатдегидрогеназа (MDH1, EC 1.1.1.37) – фермент имеет семь аллелей, что позволяет выявить различия между подвидами [29].

Малик-энзим (ME, EC 1.1.1.40) – существует четыре аллеля данного фермента, которые могут быть использованы для идентификации подвидов [30–32].

Эстераза EST-3 (EC 3.1.1) – фермент имеет восемь аллелей, которые также помогают в различении подвидов [33].

Щелочная фосфатаза (ALP, EC 3.1.3.1). Полиморфизм этого фермента выражен в трех аллелях [33].

Фосфоглюкомутаза (PGM, EC 5.4.2.2) – фермент, имеющий пять аллелей, которые могут быть использованы для дискриминации подвидов [33].

Гексокиназа (HK, EC 2.7.1.1) – полиморфизм гексокиназы включает пять аллелей [34].

МЕТОДЫ НА ОСНОВЕ МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДНК (МТДНК)

Данные методы идентификации используют нуклеотидный полиморфизм для определения таксономической принадлежности пчел. Существует три основных подхода:

- *Полиморфизм длин рестрикционных фрагментов (RFLP)*. Метод использует рестрикцион-

ные ферменты для анализа полиморфизма длины фрагментов мтДНК [11, 22, 35]. Дополнительно RFLP фрагменты, амплифицированные методом ПЦР (PCR-RFLP), используются для идентификации подвидов [16, 33].

- *Полиморфизм ПЦР-продуктов*. Включает использование специфических праймеров для амплификации ПЦР-продуктов, а также праймеров для амплификации случайных полиморфных ДНК (RAPD) [36]. Метод позволяет выявить полиморфизм в мтДНК у различных подвидов пчел.

- *Секвенирование мтДНК* – направлен на поиск однонуклеотидных полиморфизмов (SNPs) в мтДНК [12, 16, 37–39]. Секвенирование может быть выполнено как на полном, так и на частичном митохондриальном геноме или межгенных последовательностях (IGS). Одной из наиболее полиморфных межгенных последовательностей является участок между генами COI и COII мтДНК [16, 37].

МЕТОДЫ НА ОСНОВЕ ЯДЕРНОЙ ДНК (НДНК)

Ядерный геном медоносной пчелы представляет собой высокоорганизованную структуру, содержащую 246 млн пар нуклеотидов, распределенных по 16 хромосомам и кодирующих около 10 тыс. генов. Эта сложная генетическая архитектура обеспечивает функционирование, адаптацию вида к различным экологическим условиям, а также формирует социальную организацию и репродуктивные стратегии.

- *Полиморфизм ПЦР-продуктов*. Этот метод включает использование специфических праймеров для амплификации ПЦР-продуктов, а также случайных праймеров RAPD, позволяющих выявить полиморфизмы в ядерной ДНК [16, 37].

- *Секвенирование нДНК*. Секвенирование ядерной ДНК направлено на поиск однонуклеотидных полиморфизмов (SNPs), обнаруживающих полиморфизмы в различных генах [38–40].

- *Полное геномное секвенирование*. Включает использование технологий нового поколения (NGS) для секвенирования полного генома пчелы [38, 40], что позволяет получить данные обо всех генетических вариациях в геноме, что обеспечивает наиболее полное представление о таксономической принадлежности [1].

Наиболее полиморфными локусами ядерной ДНК являются микросателлитные последовательности, также известные как короткие

тандемные повторы (STR). Эти генетические маркеры характеризуются высокой степенью вариабельности, что делает их незаменимыми в молекулярно-генетических исследованиях. Для их детекции применяется метод полимеразной цепной реакции (ПЦР) с использованием специфических праймеров, что позволяет с высокой точностью амплифицировать и анализировать эти уникальные генетические элементы [21, 41].

Методы идентификации таксономической принадлежности пчел охватывают широкий спектр подходов, от морфометрической оценки до молекулярных изысканий. Каждый из них имеет свои положительные и отрицательные стороны, и, большей частью, только их комбинация обеспечивает получение точных результатов. При этом важно учитывать, что выбор метода зависит от целей исследования, доступных ресурсов и специфики рассматриваемого материала или объекта. Современные технологии, такие как полное геномное секвенирование и геометрическая морфометрия, предоставляют новые возможности для более точного и детализированного определения подвидов медоносных пчел [1].

ПОДВИДЫ МЕДОНОСНОЙ ПЧЕЛЫ: СОВРЕМЕННЫЕ ДАННЫЕ И ПРОБЛЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ

Изначально *A. mellifera* на основе морфометрических данных 20 подвидов подразделялась на три эволюционные линии (А, М, С) [10, 11, 22, 35, 41]. В дальнейшем, с использованием морфометрических и молекулярных данных, классификация была расширена до четырех линий (А, М, С, О), с включением около 25 подвидов пчел [8, 11, 20, 22, 41, 42].

На современном этапе развития систематики медоносной пчелы специалисты на основе молекулярных данных классифицируют шесть линий (А (+ подлиния Z), М, С, О (+ подлиния X), Y) охватывающих около 30 подвидов [1, 13, 43].

Основной проблемой при идентификации подвидов является наличие переходных зон между ареалами, что приводит к градиентным изменениям морфометрических и молекулярных характеристик. Эти переходные зоны отмечаются между различными подвидами как в Африке, так и в Европе, и на Ближнем Востоке. Например, подобное фиксируется между подвидами *A. m. adansonii* и *A. m. jemenitica*, *A. m. sahariensis* и *A. m. intermissa*, *A. m. intermissa* и *A. m. major*, *A. m. intermissa* и *A. m. scutellata*, *A. m. capensis*

и *A. m. unicolor*, *A. m. simensis* и *A. m. nubica*, *A. m. litorea* и *A. m. monticola* в Африке [17–19]. В Европе переходные зоны наблюдаются между *A. m. intermissa* и *A. m. iberiensis*, а также *A. m. iberiensis* и *A. m. mellifera* [11, 17, 20]. На Ближнем Востоке такие зоны отмечаются между ареалами подвидов *A. m. meda* и *A. m. anatoliaca*, *A. m. anatoliaca* и *A. m. syriaca*, *A. m. syriaca* и *A. m. lamarckii* [42–44].

Классификационные данные подвидов пчел могут отличаться в зависимости от примененных методов или оцененных признаков, например: *A. m. adansonii*, *A. m. monticola*, *A. m. scutellata*, *A. m. capensis* и *A. m. unicolor* не отличаются по мтДНК, но по морфометрическим признакам и аллелимам имеют четкую дифференциацию [8, 13–15, 45]. Подвиды *A. m. rodopica* и *A. m. macedonica* не отличаются по аллелимам, но дифференцируются по морфометрическим признакам, мтДНК и микросателлитам [44].

Эволюционные линии медоносной пчелы могут быть определены различными методами. Одним из значимых достижений стало использование молекулярных маркеров (мтДНК (mtDNA), микросателлиты), что позволило провести дополнительные исследования в области филогенетики *Apis mellifera*. Так, исследование mtDNA продемонстрировало, что подвиды *A. m. syriaca*, *A. m. anatoliaca* и *A. m. meda*, которые ранее были отнесены к линии О на основе морфометрии, генетически ближе к подвиду *A. m. lamarckii*, соответствующему линии А [16, 21].

Однако такие современные методы не всегда дают однозначные результаты. Например, подвид *A. m. caucasia*, который морфологически относился к линии О, по данным mtDNA был перемещен в линию С [21, 43]. Это свидетельствует о том, что филогенетические связи внутри *Apis mellifera* крайне сложны и требуют дальнейшего изучения, особенно с применением методов, способных учитывать не только генетические, но и экологические аспекты адаптации подвидов.

На основании актуальных научных данных предполагается существование 30 подвидов медоносной пчелы. Все остальные подвиды, количество которых превышает указанное, либо классифицируются как синонимы, либо остаются недостаточно изученными из-за отсутствия сохраненных образцов. Эти подвиды не включены в современный систематизированный перечень. Географическое распространение подвидов медоносной пчелы представлено на рис. 1.



Рис. 1. Подвиды медоносной пчелы
Subspecies of honey bee

Согласно современной классификации подвиды медоносной пчелы подразделяются на шесть

эволюционных линий. Линия А включает десять подвидов, линия М – три подвида, подлиния

Z – три подвида. Линия С также состоит из десяти подвидов, а линия О – из трех подвидов. Подлиния Х представлена двумя подвидами, линия Y – одним подвидом. Неопределенная линия,

классифицируемая как С или О, включает три подвида [1].

Эволюционные ветви подвидов медоносной пчелы и их распространение отражены на рис. 2.



Рис. 2. Эволюционные ветви медоносной пчелы
Evolutionary branches of the honey bee

Географическое распределение данных подвидов или их ареал охватывает три основных региона: Африку, Западную Азию и Ближний Восток, а также Европу. В Африке насчитыва-

ется одиннадцать подвидов, в Западной Азии и Ближнем Востоке – семь подвидов, а в Европе – двенадцать подвидов (табл. 2).

Современная таксономия медоносной пчелы *Apis mellifera*
Modern taxonomy of the honey bee *Apis mellifera*

№	Подвид	Линия	Ареал
1	2	3	4
<i>Африка (11 подвидов)</i>			
1	Египетская медоносная пчела (<i>Apis mellifera tamarckii</i> Cockerell, 1906)	О	Египет, Судан
2	Восточноафриканская прибрежная пчела (<i>A. m. litorea</i> Smith, 1961)	А	Кения
3	Западноафриканская медоносная пчела (<i>A. m. adansonii</i> Latreille, 1804)	А	Нигерия, Буркина-Фасо, Уганда, Танзания, Замбия, Сенегал, Судан
4	Африканская медоносная пчела (<i>A. m. scutellata</i> Lepelletier de Saint Fargeau, 1836)	А	Кения, Танзания, Уганда, ЮАР, Сомали
5	Восточноафриканская горная пчела (<i>A. m. monticola</i> Smith, 1961)	А	Горы Кении, Танзании
6	Капская медоносная пчела (<i>A. m. capensis</i> Escholtz, 1822)	А	Капская область в ЮАР
7	Мадагаскарская медоносная пчела (<i>A. m. unicolor</i> Latreille, 1804)	А	Мадагаскар
8	Эфиопская медоносная пчела (<i>A. m. simensis</i> Meixner et al., 2011)	А	Эфиопия
9	Сахарская медоносная пчела (<i>A. m. sahariensis</i> Baldensperger, 1932)	А	Марокко, Алжир, Тунис, Ливия, Мавритания, Западная Сахара
10	Теллианская медоносная пчела (<i>A. m. intermissa</i> Мaa, 1953, синоним: <i>A. m. major</i> Ruttner et al., 1978)	А	Марокко, Ливия, Тунис
11	Аравийская медоносная пчела (<i>A. m. jemenitica</i> Ruttner, 1978)	У	Аравийский полуостров, Чад, Саудовская Аравия, Сомали, Судан, Уганда, Йемен
<i>Западная Азия и Ближний Восток (7 подвидов)</i>			
12	Сирийская медоносная пчела (<i>A. m. syriaca</i> Skorikov, 1929)	А (Z)	Сирия, Израиль, Ливан, Палестина, Иордания
13	Тянь-Шаньская медоносная пчела (<i>A. m. pomonella</i> Sheppard and Meixner, 2003)	О	Горы Тянь-Шаня в Казахстане, Кыргызстане
14	Синьцзянская медоносная пчела (<i>A. m. sinixinyuan</i> Chen et al., 2016)	М	Синьцзян-Уйгурский автономный район Китая
15	Персидская медоносная пчела (<i>A. m. meda</i> Skorikov, 1929)	А (Z)	Иран, Ирак, Сирия, Турция
16	Кавказская медоносная пчела (<i>A. m. caucasia</i> Pollmann, 1889)	С	Южная Россия, Турция, Грузия
17	Армянская медоносная пчела (<i>A. m. remipes</i> Gerstäcker, 1862, синоним: <i>A. m. armeniaca</i> Skorikov, 1929)	О	Южная Россия, Армения, Иран, Грузия
18	Анатолийская медоносная пчела (<i>A. m. anatoliaca</i> Мaa, 1953)	А (Z)	Иран, Армения, Сирия, Турция
<i>Европа (12 подвидов)</i>			
19	Мальтийская медоносная пчела (<i>A. m. ruttneri</i> Sheppard et al., 1997)	А	Мальта
20	Темная европейская медоносная пчела (<i>A. m. mellifera</i> Linnaeus, 1758 (синонимы: <i>A. mellifica germanica</i> Pollmann, 1879, <i>A. mellifica nigrita</i> Lucas, 1882, <i>A. mellifica mellifica lehzeni</i> Buttell-Reepen, 1906, <i>A. mellifica mellifica silvarum</i> Goetze, 1964)	М	Франция, Великобритания, Швейцария, европейская часть России, Польша, Дания, Норвегия, Швеция, Ирландия
21	Испанская медоносная пчела (<i>A. m. iberiensis</i> Engel 1999 (новое название <i>A. m. iberica</i> Ruttner 1988, preoccupied, nec Skorikov 1929)	М	Испания, Португалия
22	Македонская медоносная пчела (<i>A. m. macedonica</i> Ruttner, 1988 (синоним: <i>A. m. sossimai</i> Engel 1999, <i>A. m. taurica</i> Alpatov 1935, <i>A. m. artemisia</i> Engel 1999)	С	Болгария, Греция, Македония, Украина
23	Итальянская медоносная пчела (<i>A. m. ligustica</i> Spinola 1806)	С	Италия

1	2	3	4
24	Карника, или карпатская медоносная пчела (<i>A. m. carnica</i> Pollman 1879 (синонимы: <i>A. mellifica hymettea</i> Pollmann 1879, <i>A. mellifera carniolica</i> Koschevnikov 1900, <i>A. mellifica banatica</i> Grozdanic 1926, <i>A. mellifera banata</i> Skorikov 1929)	С	Словения, Болгария, Польша, Австрия, Хорватия, Босния и Герцеговина, Сербия, Венгрия, Румыния
25	Карпатская медоносная пчела (<i>A. m. carpatica</i> Avetisyan, Gubin, Davidenco, 1966 (синоним: <i>A. m. carpathica</i> Avetisyan, Gubin, Davidenco, 1966)	С	Украина, Болгария, Румыния, Молдова
26	Болгарская медоносная пчела (<i>A. m. rodopica</i> Petrov 1991)	С	Болгария
27	Греческая медоносная пчела (<i>A. m. cecropia</i> Kiesenweiter 1860)	С	Греция
28	Сицилийская медоносная пчела (<i>A. m. siciliana</i> Dalla Torre 1896)	А	Сицилия
29	Критская медоносная пчела (<i>A. m. adami</i> Ruttner, 1978)	А	Крит
30	Кипрская медоносная пчела (<i>A. m. cypria</i> Pollman 1879)	О	Кипр

Представленная информация отражает комплексный системный подход к классификации медоносной пчелы, основанный на актуальных научных данных и современных методах систематизации. Классификация медоносных пчел остается одной из наиболее сложных и дискуссионных тем в современной энтомологии и систематике насекомых. Многообразие подвидов и их генетическая пластичность, а также процессы гибридизации, протекающие в естественных условиях, значительно усложняют задачу четкого разграничения таксономических единиц. В частности, в зонах симпатрии наблюдается формирование гибридных популяций, обладающих промежуточными морфологическими и генетическими характеристиками, что ставит под сомнение возможность их однозначной идентификации и классификации на уровне подвидов [17, 18].

Гибридизация между подвидами является ключевым фактором, способствующим размыванию границ ареалов и появлению переходных зон, где происходит интрогрессия генетического материала. В свою очередь, подобные зоны представляют собой уникальные эволюционные «лаборатории», в которых осуществляются процессы, позволяющие медоносным пчелам адаптироваться к изменяющимся природно-климатическим условиям. Генетическая смесь, возникающая в результате интрогрессии, может способствовать появлению новых фенотипических признаков и генетических адаптаций, что делает гибридные популяции важным объектом для изучения с точки зрения эволюционной биологии и экологии.

Для научно обоснованной корректной классификации медоносных пчел необходимо проведение комплексного анализа, включающего морфологические, генетические и эколого-геогра-

фические исследования. Это позволит не только установить таксономические границы между подвидами, но и выявить механизмы, лежащие в основе формирования гибридных популяций, а также оценить их адаптивный потенциал в условиях меняющейся окружающей среды. В этой связи изучение гибридизации и интрогрессии у данных насекомых является важной задачей, имеющей как фундаментальное, так и прикладное значение для понимания эволюционных процессов и сохранения их биоразнообразия.

Темпы воздействия антропогенных факторов на динамику распространения подвидов пчел и их эволюционные процессы представляют собой важный аспект современных сельскохозяйственных и экологических исследований. Пчеловодство, как антропогенная отрасль, играет основополагающую роль в миграции подвидов, таких как *Apis mellifera carnica* и *Apis mellifera ligustica*, в регионы, где они ранее не встречались. Интродукция этих подвидов в экосистемы, не являющиеся их естественным ареалом, приводит к гомогенизации генофонда местных популяций пчел, что, в свою очередь, приведет к утрате их биологической и генетической уникальности, а также снижению адаптивного потенциала [11, 13].

В этой связи возникает необходимость разработки стратегий по сохранению генетической целостности локальных популяций пчел, которые позволят минимизировать риски их вытеснения интродуцированными подвидами. Подобные стратегии и разработки должны включать комплексные меры по мониторингу, управлению и охране местных природных и антропогенных экосистем, а также исследования, направленные на выявление механизмов адаптации пчел к глобальным изменениям среды.

Также одним из востребованных направлений в области сохранения пчел является изучение поведения и экологических адаптаций подвидов. Например, *A. m. scutellata*, африканский подвид, известен высокой агрессивностью и способностью быстро адаптироваться к новым условиям. Это позволяет ему успешно конкурировать с другими подвидами в различных регионах и создает дополнительные экологические проблемы, особенно в контексте инвазивного распространения [18, 46].

Капская пчела *A. m. capensis* характеризуется способностью рабочих особей откладывать диплоидные женские яйца, которые развиваются партеногенетическим путем телитокии в женских особей и аррентоккии в мужских. Некоторые исследования [47] показали, что телитокия у капских пчел контролируется доминантным аллелем (ThTh), который действует в сочетании с комплементарным аллелем аррентоккии (Thar). Это взаимодействие позволяет рабочим пчелам развиваться путем телитоккии. Отсутствие такой комбинации приводит к нефункциональным или аррентоккным особям. Дополнительно было установлено, что ген *Ethr*, кодирующий рецептор гормона, регулирующего экдизис и синтез ювенильного гормона, связан с развитием признаков, похожих на маточные, у рабочих пчел в стадии личинки. Ген *musC*, связанный с аллелем ThTh, может влиять на превращение рабочих пчел капского подвида в социальных паразитов. Описанные факты являются доказательством того, что при классификации необходимо учитывать не только генетические и морфометрические признаки, но и этологические характеристики и особенности [47–49].

Следует также отметить, что многие подвиды *Apis mellifera* остаются слабо изученными, особенно в географически удаленных регионах с труднодоступными или экстремальными климатическими условиями. Например, подвиду *A. m. monticola*, обитающему в высокогорных районах Восточной Африки, посвящено сравнительно мало исследований, несмотря на его потенциальную роль в сохранении генетического разнообразия вида.

ВЫВОДЫ

1. Таксономия медоносной пчелы (*Apis mellifera*) остается одной из наиболее сложных и активно изучаемых областей энтомологии, объединяющей достижения биологии, генетики, морфометрии, молекулярной биологии и экологии.

Многолетние исследования значительно углубили понимание видового разнообразия, эволюционных процессов и адаптационных механизмов этого важного опылителя сельскохозяйственных и дикорастущих растений. Однако, несмотря на прогресс, таксономическая структура *Apis mellifera* продолжает вызывать научные дискуссии, обусловленные вопросами генетической и морфологической variability, а также антропогенным воздействием. Учитывая незаменимую роль пчел в поддержании экосистем и продовольственной безопасности, решение этих вопросов приобретает как фундаментальное, так и прикладное значение для пчеловодства, сельского хозяйства и сохранения биоразнообразия экосистем.

2. Морфометрические методы, заложившие основу классификации подвидов, обладают ограниченной точностью из-за высокой изменчивости количественных признаков, таких как размеры тергитов, крыльев или хоботка, под влиянием экологических факторов, включая климат и доступность ресурсов. Эта variability затрудняет использование морфометрии для оценки генетической изоляции популяций. Биохимические подходы, основанные на анализе аллозимов (например, малатдегидрогеназы или эстеразы), предоставляют данные о ферментативном полиморфизме, но их разрешающая способность также уступает современным молекулярным методам. Введение технологий анализа митохондриальной и ядерной ДНК, включая полимеразную цепную реакцию (ПЦР), полиморфизм длин рестриционных фрагментов (RFLP), секвенирование генов и анализ микросателлитов, кардинально изменило систематику. Эти методы позволили не только уточнить филогенетические связи, но и выявить новые эволюционные линии, такие как Y и подлинии Z и X линий O и A, расширив соответственно число таксономических групп.

3. Технологии секвенирования нового поколения (NGS) открывают перспективы для полногеномного анализа, обеспечивая глубокое понимание генетической архитектуры популяций и механизмов их адаптации. Однако широкое применение NGS ограничено высокой стоимостью и недостаточным объемом данных, особенно для подвидов из труднодоступных регионов, таких как высокогорные районы Африки (*A. m. monticola*), Китая (*A. m. sinisxinyuan*) и Казахстана (*A. m. pomonella*). Интеграция молекулярных данных с морфометрическими и экологическими характеристиками остается ключом к созданию унифицированной классификации, способной

учесть сложность таксономической структуры вида.

4. Основная проблема в систематике *Apis mellifera* связана с существованием переходных зон и гибридных популяций, особенно в регионах симпатрии в пределах ареала. В этих зонах, например между подвидами *A. m. adansonii* и *A. m. jemenitica*, *A. m. sahariensis* и *A. m. intermissa*, *A. m. intermissa* и *A. m. major*, *A. m. intermissa* и *A. m. scutellata*, *A. m. capensis* и *A. m. unicolor*, *A. m. simensis* и *A. m. nubica*, *A. m. litorea* и *A. m. monticola* в Африке; между подвидами *A. m. intermissa* и *A. m. iberiensis*, а также *A. m. iberiensis* и *A. m. mellifera* в Европе; между подвидами *A. m. meda* и *A. m. anatoliaca*, *A. m. anatoliaca* и *A. m. syriaca*, *A. m. syriaca* и *A. m. lamarckii* на Ближнем Востоке наблюдаются градиентные изменения морфологических и генетических признаков, обусловленные интрогрессией. Гибридизация, с одной стороны, способствует адаптации пчел к изменяющимся условиям, формируя новые фенотипические и генетические комбинации. С другой стороны, она размывает таксономические границы, усложняя идентификацию подвидов. Транспортировка в северные регионы пчелиных семей таких подвидов, как *A. m. carnica* и *A. m. ligustica*, усиливает гомогенизацию генофонда, угрожая генетической уникальности локальных популяций. Это особенно критично для регионов с эндемичными подвидами, где интродукция может привести к утрате адаптивного потенциала.

5. Этологические особенности подвидов, такие как телитокия у *A. m. capensis* или повышенная агрессивность *A. m. scutellata*, подчеркивают важность учета поведенческих и экологических характеристик в таксономии. Например, способность рабочих пчел *A. m. capensis* к партеногенетическому размножению и проявление

социального паразитизма, обусловленные генетическими механизмами (аллели ThTh и Ethr), отличают этот подвид. Эти признаки, наряду с морфологическими и генетическими маркерами, должны учитываться при классификации, чтобы отразить адаптивные стратегии подвидов. Однако многие подвиды пчел, особенно в географически удаленных или экстремальных средах, остаются недостаточно изученными, что требует дальнейших исследований с использованием современных методов, включая NGS и геометрическую морфометрию.

6. Для создания унифицированной классификации *Apis mellifera* необходим мультидисциплинарный подход, интегрирующий морфометрические, генетические, экологические и этологические данные. Разработка стратегий сохранения генетического разнообразия, включая мониторинг гибридизации и управление антропогенным воздействием, станет основой для защиты локальных популяций. Особое внимание следует уделить разработке мер по предотвращению вытеснения эндемичных подвидов интродуцированными, а также изучению адаптационных механизмов в условиях глобальных экологических изменений. Такие исследования не только углубят понимание эволюционных процессов, но и обеспечат устойчивое развитие пчеловодства, поддерживая незаменимую роль пчел как опылителей в экосистемах. Продолжение мультидисциплинарных изысканий и внедрение инновационных технологий, таких как полногеномное секвенирование, откроют новые решения таксономических вопросов и сохранения биоразнообразия медоносной пчелы.

Работа выполнена в ИБР РАН при поддержке гранта РНФ 24-16-00179.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *A revision of subspecies structure of western honey bee Apis mellifera* / R.A. Ilyasov, M.L. Lee, J.I. Takahashi [et al.] // Saudi Journal of Biological Sciences. – 2020. – Vol. 27, No. 12. – P. 3615–3621. – DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.08.001.
2. Radloff S.E., Hepburn H.R., Fuchs S. Ecological and morphological differentiation of the honeybees, *Apis mellifera* Linnaeus (Hymenoptera: Apidae), of West Africa // African Entomology. – 1998. – Vol. 6. – P. 17–23.
3. Genomic analyses reveal demographic history and temperate adaptation of the newly discovered honey bee subspecies *Apis mellifera sinixinyuan* n. ssp. / C. Chen, Z. Liu, Q. Pan [et al.] // Molecular Biology and Evolution. – 2016. – Vol. 33, No. 5. – P. 1337–1348. – DOI: 10.1093/molbev/msw017.
4. Linnaeus C. Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. – 1758.
5. Buttel-Reepen H. Mitteilungen aus dem zoologischen museum in Berlin // Berlin, Germany: Springer. 1906. – 117 p.
6. Skorikov A.S. Eine neue Basis für eine Revision der Gattung *Apis* L // Report of the Bureau of Applied Entomology. – 1929. – Vol. 4. – P. 249–270.
7. Maa T.C. An inquiry into the systematics of the tribus Apidini or honeybees (Hym.) // Treubia. – 1953. – Vol. 21. – P. 525–640.

8. *Ruttner F.* Biogeography and taxonomy of honeybees // Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. – 1988. – 284 p.
9. *Engel M.S.* The taxonomy of recent and fossil honey bees (Hymenoptera, Apidae, Apis) // Journal of Hymenoptera Research. – 1999. – Vol. 8. – P. 165–196.
10. *Ruttner F., Tassencourt L., Louveaux J.* Biometrical statistical analysis of the geographic variability of *Apis mellifera* L // Apidologie. – 1978. – Vol. 9, No. 4. – P. 363–382. – DOI: 10.1051/apido:19780408.
11. *Smith D.R.* Mitochondrial DNA and honeybee biogeography // Diversity in the genus *Apis*. Boulder, CO: Westview Press. 1991. – P. 131–176.
12. Genetic diversity of the honeybee in Africa: microsatellite and mitochondrial data / P. Franck, L. Garnery, A. Loiseau [et al.] // Heredity. – 2001. – Vol. 86, No. 4. – P. 420–430. – DOI: 10.1046/j.1365-2540.2001.00842.x.
13. Standard methods for characterising subspecies and ecotypes of *Apis mellifera* / M.D. Meixner, M.A. Pinto, M. Bouga [et al.] // Journal of Apicultural Research. – 2013. – Vol. 52, No. 4. – P. 1–28. – DOI: 10.3896/IBRA.1.52.4.05.
14. *Meixner M.D., Arias M.C., Sheppard W.S.* Mitochondrial DNA polymorphisms in honey bee subspecies from Kenya // Apidologie. – 2000. – Vol. 31, No. 2. – P. 181–190. – DOI: 10.1051/apido:2000115.
15. The honey bees of Ethiopia represent a new subspecies of *Apis mellifera* - *Apis mellifera* *simensis* n. ssp / M.D. Meixner, M.A. Leta, N. Koeniger, S. Fuchs // Apidologie. – 2011. Vol. 42, No. 3. – P. 425–437. – DOI: 10.1007/s13592-011-0007-y.
16. *Arias M.C., Sheppard W.S.* Phylogenetic relationships of honey bees (Hymenoptera: Apinae: Apini) inferred from nuclear and mitochondrial DNA sequence data // Molecular Phylogenetics and Evolution. – 2005. – Vol. 37, No. 1. – P. 25–35. – DOI: 10.1016/j.ympev.2005.02.017.
17. *Ruttner F.* Naturgeschichte der Honigbienen. – Munich, Germany: Ehrenwirth, 1992. – 455 p.
18. *Hepburn H.R., Radloff S.E.* Honeybees of Africa. Berlin Heidelberg: Springer. – 1998. – DOI: 10.1007/978-3-662-03604-4.
19. *Dukku U.H.* Evaluation of morphometric characters of honeybee (*Apis mellifera* L.) populations in the Lake Chad Basin in Central Africa // Advances in Entomology. – 2016. – Vol. 4, No. 2. – P. 75–89. – DOI: 10.4236/ae.2016.42009.
20. *Cornuet J.M., Garnery L.* Mitochondrial DNA variability in honeybees and its phylogeographic implications // Apidologie. – 1991. – Vol. 22, No. 6. – P. 627–642. – DOI: 10.1051/apido:19910606.
21. Molecular confirmation of a fourth lineage in honeybees from the Near East / P. Franck, L. Garnery, M. Solignac, J.-M. Cornuet // Apidologie. – 2000. – Vol. 31, No. 2. – P. 167–180. – DOI: 10.1051/apido:2000114.
22. *Smith D.R., Brown W.M.* Polymorphisms in mitochondrial DNA of European and Africanized honeybees (*Apis mellifera*) // Experientia. – 1988. – Vol. 44, No. 3. – P. 257–260. – DOI: 10.1007/BF01941730.
23. Selection and hybridization shaped the rapid spread of African honey bee ancestry in the Americas / E. Calfee, M.N. Agra, M.A. Palacio [et al.] // PLoS Genetics. – 2020. – Vol. 16, No. 10. – P. e1009038. – DOI: 10.1371/journal.pgen.1009038.
24. Complex population structure and haplotype patterns in the Western European honey bee from sequencing a large panel of haploid drones / D. Wragg, S.E. Eynard, B. Basso [et al.] // Molecular Ecology Resources. – 2022. – Vol. 22, No. 8. – P. 3068–3086. – DOI: 10.1111/1755-0998.13665.
25. The Genomic Basis of Adaptation to High Elevations in Africanized Honey Bees / T. Everitt, A. Wallberg, M.J. Christmas [et al.] // Genome Biology and Evolution. – 2023. – Vol. 15, No. 9. – P. evad157. – DOI: 10.1093/gbe/evad157.
26. *DuPraw E.J.* Non-Linnean taxonomy and the systematics of Honeybees // Systematic Zoology. – 1965. – Vol. 14, No. 1. – P. 1. – DOI: 10.2307/2411899.
27. Using the Software DeepWings(c) to Classify Honey Bees across Europe through Wing Geometric Morphometrics / C.A.Y. García, P.J. Rodrigues, A. Tofilski [et al.] // Insects. – 2022. – Vol. 13, No. 12. – DOI: 10.3390/insects13121132.
28. Both geometric morphometric and microsatellite data consistently support the differentiation of the *Apis mellifera* M evolutionary branch / I. Miguel, M. Baylac, M. Iriando [et al.] // Apidologie. – 2011. – Vol. 42, No. 2. – P. 150–161. – DOI: 10.1051/apido/2010048.
29. *Smith D.R., Glenn T.C.* Allozyme polymorphisms in Spanish honeybees (*Apis mellifera iberica*) // Journal of Heredity. – 1995. – Vol. 86, No. 1. – P. 12–16. – DOI: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a111518.
30. *Sheppard W.S., Berlocher S.H.* New allozyme variability in Italian honey bees // Journal of Heredity. – 1985. – Vol. 76, No. 1. – P. 45–48. – DOI: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a110016.
31. *Apis mellifera ruttneri*, a new honey bee subspecies from Malta / W. Sheppard, M. Arias, A. Grech, M. Meixner // Apidologie. – 1997. – Vol. 28, No. 1. – P. 287–293. – DOI: 10.1051/apido:19970505.
32. *Sheppard W.S., Meixner M.D.* *Apis mellifera pomonella*, a new honey bee subspecies from Central Asia // Apidologie. – 2003. – Vol. 34, No. 1. – P. 367–375. – DOI: 10.1051/apido:2003037.
33. *Ivanova E.N., Staykova T.A., Petrov P.P.* Allozyme variability in populations of local Bulgarian honey bee // Biotechnology and Biotechnological Equipment. – 2010. – Vol. 24, No. 2. – P. 371–374. – DOI: 10.1080/13102818.2010.10817868.
34. Genetic differentiation estimated by isozymic analysis of Africanized honey bee populations from Brazil and from Central America / M.A. Del Lama, J.A. Lobo, A.E.E. Soares, S.N. Del Lama // Apidologie. – 1990. – Vol. 21, No. 4. – P. 271–280. – DOI: 10.1051/apido:19900401.

35. Garnery L., Cornuet J.M., Solignac M. Evolutionary history of the honey bee *Apis mellifera* inferred from mitochondrial DNA analysis // *Molecular Ecology*. – 1992. – Vol. 1, No. 3. – P. 145–154. – DOI: 10.1111/j.1365-294X.1992.tb00170.x.
36. Tunca R.I., Kence M. Genetic diversity of honey bee (*Apis mellifera* L.: Hymenoptera: Apidae) populations in Turkey revealed by RAPD markers // *African Journal of Agricultural Research*. – 2011. – Vol. 6, No. 29. – P. 6217–6225. – DOI: 10.5897/AJAR10.386.
37. Phylogenetic relationships of Russian Far-East *Apis cerana* with other North Asian populations / R.A. Ilyasov, H.G. Youn, M.-I. Lee [et al.] // *Journal of Apicultural Science*. – 2019. – Vol. 63, No. 2. – P. 289–314. – DOI: 10.2478/jas-2019-0024.
38. Thrice out of Africa: ancient and recent expansions of the honey bee, *Apis mellifera* / C.W. Whitfield, S.K. Behura, S.H. Berlocher [et al.] // *Science*. – 2006. – Vol. 314, No. 5799. – P. 642–645. – DOI: 10.1126/science.1132772.
39. Genetic integrity of the dark European honey bee (*Apis mellifera mellifera*) from protected populations: a genome-wide assessment using SNPs and mtDNA sequence data / M.A. Pinto, D. Henriques, J. Chávez-Galarza [et al.] // *Journal of Apicultural Research*. – 2014. – Vol. 53, No. 23. – P. 269–278. – DOI: 10.3896/IBRA.1.53.2.08.
40. A hybrid de novo genome assembly of the honeybee, *Apis mellifera*, with chromosome-length scaffolds / A. Wallberg, I. Bunikis, O.V. Pettersson [et al.] // *BMC Genomics*. – 2019. – Vol. 20, No. 1. – P. 275. – DOI: 10.1186/s12864-019-5642-0.
41. Microsatellite variation in honey bee (*Apis mellifera* L.) populations: hierarchical genetic structure and test of the infinite allele and stepwise mutation models / A. Estoup, L. Garnery, M. Solignac, J.M. Cornuet // *Genetics*. – 1995. – Vol. 140, No. 2. – P. 679–695. – DOI: 10.1093/genetics/140.2.679.
42. The origin of west European subspecies of honeybees (*Apis mellifera*): New insights from microsatellite and mitochondrial data / P. Franck, L. Garnery, M. Solignac, J.M. Cornuet // *Evolution*. – 1998. – Vol. 52, No. 4. – P. 1119–1134. – DOI: 10.1111/j.1558-5646.1998.tb01839.x.
43. A fifth major genetic group among honeybees revealed in Syria / M. Alburaki, B. Bertrand, H. Legout [et al.] // *BMC Genetics*. – 2013. – Vol. 14. – P. 117. – DOI: 10.1186/1471-2156-14-117.
44. Mitochondrial DNA variation in honey bee (*Apis mellifera* L.) populations from Turkey / I. Kandemir, M. Kence, W.S. Sheppard, A. Kence // *Journal of Apicultural Research*. – 2006. – Vol. 45, No. 1. – P. 33–38. – DOI: 10.1080/00218839.2006.11101310.
45. Large-scale mitochondrial DNA analysis of native honey bee *Apis mellifera* populations reveals a new African subgroup private to the South West Indian Ocean islands / M.A. Techer, J. Clemencet, C. Simiand [et al.] // *BMC Genetics*. – 2017. – Vol. 18, No. 1. – P. 53. – DOI: 10.1186/s12863-017-0520-8.
46. Kandemir I., Kence M., Kence A. Morphometric and electrophoretic variation in different honeybee (*Apis mellifera* L.) populations // *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. – 2005. – Vol. 29. – P. 885–890.
47. A Single SNP Turns a Social Honey Bee (*Apis mellifera*) Worker into a Selfish Parasite / D. Aumer, E. Stolle, M. Allsopp [et al.] // *Molecular Biology and Evolution*. – 2019. – Vol. 36, No. 3. – P. 516–526. – DOI: 10.1093/molbev/msy232.
48. Genetic diversity of the west European honey bee (*Apis mellifera mellifera* and *A. m. iberica*). II. Microsatellite loci / L. Garnery, P. Franck, E. Baudry [et al.] // *Genetics Selection Evolution*. – 1998. – Vol. 30, No. 1. – P. 49–74. – DOI: 10.1051/gse:19980703.
49. Kumar Y., Khan M.S. Genetic variability of European honey bee, *Apis mellifera* in mid hills, plains and tarai region of India // *African Journal of Biotechnology*. – 2014. – Vol. 13, No. 8. – P. 916–925. – DOI: 10.5897/AJB2013.13142.

REFERENCES

1. Ilyasov R.A., Lee M.I., Takahashi J.i., Kwon H.W., Nikolenko A.G., A revision of subspecies structure of western honey bee *Apis mellifera*, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2020, Vol. 27, No. 12, pp. 3615–3621, DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.08.001.
2. Radloff S.E., Hepburn H.R., Fuchs S., Ecological and morphological differentiation of the honeybees, *Apis mellifera* Linnaeus (Hymenoptera: Apidae), of West Africa, *African Entomology*, 1998, Vol. 6, pp. 17–23.
3. Chen C., Liu Z., Pan Q., Chen X., Wang H., Guo H., Liu S., Lu H., Tian S., Li R., Shi W., Genomic analyses reveal demographic history and temperate adaptation of the newly discovered honey bee subspecies *Apis mellifera sinixinyuan* n. ssp., *Molecular Biology and Evolution*, 2016, Vol. 33, No. 5, pp. 1337–1348, DOI: 10.1093/molbev/msw017.
4. Linnaeus C., *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*, 1758.
5. Buttel-Reepen H., *Mitteilungen aus dem zoologischen museum in Berlin*, Berlin, Germany: Springer, 1906, 117 p.
6. Skorikov A.S., Eine neue Basis für eine Revision der Gattung *Apis* L., *Report of the Bureau of Applied Entomology*, 1929, Vol. 4, pp. 249–270.
7. Maa T.C., An inquiry into the systematics of the tribus Apidini or honeybees (Hym.), *Treubia*, 1953, Vol. 21, pp. 525–640.
8. Ruttner F., *Biogeography and taxonomy of honeybees*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1988, 284 p.

9. Engel M.S., The taxonomy of recent and fossil honey bees (Hymenoptera, Apidae, *Apis*), *Journal of Hymenoptera Research*, 1999, Vol. 8, pp. 165–196.
10. Ruttner F., Tassencourt L., Louveaux J., Biometrical statistical analysis of the geographic variability of *Apis mellifera* L., *Apidologie*, 1978, Vol. 9, No. 4, pp. 363–382, DOI: 10.1051/apido:19780408.
11. Smith D.R., Mitochondrial DNA and honeybee biogeography, *Diversity in the genus Apis*, Boulder, CO: Westview Press. 1991, pp. 131–176.
12. Franck P., Garnery L., Loiseau A., Oldroyd B.P., Hepburn H.R., Solignac M., Cornuet J.M., Genetic diversity of the honeybee in Africa: microsatellite and mitochondrial data, *Heredity*, 2001, Vol. 86, No. 4, pp. 420–430, DOI: 10.1046/j.1365-2540.2001.00842.x.
13. Meixner M.D., Pinto M.A., Bouga M., Kryger P., Ivanova E., Fuchs S., Standard methods for characterising subspecies and ecotypes of *Apis mellifera*, *Journal of Apicultural Research*, 2013, Vol. 52, No. 4, pp. 1–28, DOI: 10.3896/IBRA.1.52.4.05.
14. Meixner M.D., Arias M.C., Sheppard W.S., Mitochondrial DNA polymorphisms in honey bee subspecies from Kenya, *Apidologie*, 2000, Vol. 31, No. 2, pp. 181–190, DOI: 10.1051/apido:2000115.
15. Meixner M.D., Leta M.A., Koeniger N., Fuchs S., The honey bees of Ethiopia represent a new subspecies of *Apis mellifera* - *Apis mellifera simensis* n. ssp., *Apidologie*, 2011, Vol. 42, No. 3, pp. 425–437, DOI: 10.1007/s13592-011-0007-y.
16. Arias M.C., Sheppard W.S., Phylogenetic relationships of honey bees (Hymenoptera: Apinae: Apini) inferred from nuclear and mitochondrial DNA sequence data, *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2005, Vol. 37, No. 1, pp. 25–35, DOI: 10.1016/j.ympev.2005.02.017.
17. Ruttner F., *Naturgeschichte der Honigbienen*, Munich, Germany: Ehrenwirth, 1992, 455 p.
18. Hepburn H.R., Radloff S.E., *Honeybees of Africa*. Berlin Heidelberg: Springer, 1998, DOI: 10.1007/978-3-662-03604-4.
19. Dukku U.H., Evaluation of morphometric characters of honeybee (*Apis mellifera* L.) populations in the Lake Chad Basin in Central Africa, *Advances in Entomology*, 2016, Vol. 4, No. 2, pp. 75–89, DOI: 10.4236/ae.2016.42009.
20. Cornuet J.M., Garnery L., Mitochondrial DNA variability in honeybees and its phylogeographic implications, *Apidologie*, 1991, Vol. 22, No. 6, pp. 627–642, DOI: 10.1051/apido:19910606.
21. Franck P., Garnery L., Solignac M., Cornuet J.-M., Molecular confirmation of a fourth lineage in honeybees from the Near East, *Apidologie*, 2000, Vol. 31, No. 2, pp. 167–180, DOI: 10.1051/apido:2000114.
22. Smith D.R., Brown W.M., Polymorphisms in mitochondrial DNA of European and Africanized honeybees (*Apis mellifera*), *Experientia*, 1988, Vol. 44, No. 3, pp. 257–260, DOI: 10.1007/BF01941730.
23. Calfee E., Agra M.N., Palacio M.A., Ramirez S.R., Coop G., Selection and hybridization shaped the rapid spread of African honey bee ancestry in the Americas, *PLoS Genetics*, 2020, Vol. 16, No. 10, pp. e1009038, DOI: 10.1371/journal.pgen.1009038.
24. Wragg D., Eynard S.E., Basso B., Canale-Tabet K., Labarthe E., Bouchez O., Bienefeld K., Bieńkowska M., Costa C., Gregorc A., Kryger P., Parejo M., Pinto M.A., Bidanel J.P., Servin B., Le Conte Y., Vignal A., Complex population structure and haplotype patterns in the Western European honey bee from sequencing a large panel of haploid drones, *Molecular Ecology Resources*, 2022, Vol. 22, No. 8, pp. 3068–3086, DOI: 10.1111/1755-0998.13665.
25. Everitt T., Wallberg A., Christmas M.J., Olsson A., Hoffmann W., Neumann P., Webster M.T., The Genomic Basis of Adaptation to High Elevations in Africanized Honey Bees, *Genome Biology and Evolution*, 2023, Vol. 15, No. 9, pp. ead157, DOI: 10.1093/gbe/evad157.
26. DuPraw E.J., Non-Linnean taxonomy and the systematics of Honeybees, *Systematic Zoology*, 1965, Vol. 14, No. 1, pp. 1, DOI: 10.2307/2411899.
27. García C.A.Y., Rodrigues P.J., Tofilski A., Elen D., McCormack G.P., Oleksa A., Henriques D., Ilyasov R., Kartashev A., Bargain C., Fried B., Pinto M.A., Using the Software DeepWings(c) to Classify Honey Bees across Europe through Wing Geometric Morphometrics, *Insects*, 2022, Vol. 13, No. 12, DOI: 10.3390/insects13121132.
28. Miguel I., Baylac M., Iriondo M., Manzano C., Garnery L., Estonba A., Both geometric morphometric and microsatellite data consistently support the differentiation of the *Apis mellifera* M evolutionary branch, *Apidologie*, 2011, Vol. 42, No. 2, pp. 150–161, DOI: 10.1051/apido/2010048.
29. Smith D.R., Glenn T.C., Allozyme polymorphisms in Spanish honeybees (*Apis mellifera iberica*), *Journal of Heredity*, 1995, Vol. 86, No. 1, pp. 12–16, DOI: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a111518.
30. Sheppard W.S., Berlocher S.H., New allozyme variability in Italian honey bees, *Journal of Heredity*, 1985, Vol. 76, No. 1, pp. 45–48, DOI: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a110016.
31. Sheppard W., Arias M., Grech A., Meixner M., *Apis mellifera ruttneri*, a new honey bee subspecies from Malta, *Apidologie*, 1997, Vol. 28, No. 1, pp. 287–293, DOI: 10.1051/apido:19970505.
32. Sheppard W.S., Meixner M.D., *Apis mellifera pomonella*, a new honey bee subspecies from Central Asia, *Apidologie*, 2003, Vol. 34, No. 1, pp. 367–375, DOI: 10.1051/apido:2003037.
33. Ivanova E.N., Staykova T.A., Petrov P.P., Allozyme variability in populations of local Bulgarian honey bee, *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 2010, Vol. 24, No. 2, pp. 371–374, DOI: 10.1080/13102818.2010.10817868.
34. Del Lama M.A., Lobo J.A., Soares A.E.E., Del Lama S.N., Genetic differentiation estimated by isozymic analysis of Africanized honey bee populations from Brazil and from Central America, *Apidologie*, 1990, Vol. 21, No. 4, pp. 271–280, DOI: 10.1051/apido:19900401.

35. Garnery L., Cornuet J.M., Solignac M., Evolutionary history of the honey bee *Apis mellifera* inferred from mitochondrial DNA analysis, *Molecular Ecology*, 1992, Vol. 1, No. 3, pp. 145–154, DOI: 10.1111/j.1365-294X.1992.tb00170.x.
36. Tunca R.I., Kence M., Genetic diversity of honey bee (*Apis mellifera* L.: Hymenoptera: Apidae) populations in Turkey revealed by RAPD markers, *African Journal of Agricultural Research*, 2011, Vol. 6, No. 29, pp. 6217–6225, DOI: 10.5897/AJAR10.386.
37. Ilyasov R.A., Youn H.G., Lee M.-I., Kim K.W., Proshchalykin M.Y., Lelej A.S., Takahashi J.-i., Kwon H.W., Phylogenetic relationships of Russian Far-East *Apis cerana* with other North Asian populations, *Journal of Apicultural Science*, 2019, Vol. 63, No. 2, pp. 289–314, DOI: 10.2478/jas-2019-0024.
38. Whitfield C.W., Behura S.K., Berlocher S.H., Clark A.G., Johnston J.S., Sheppard W.S., Smith D.R., Suarez A.V., Weaver D., Tsutsui N.D., Thrice out of Africa: ancient and recent expansions of the honey bee, *Apis mellifera*, *Science*, 2006, Vol. 314, No. 5799, pp. 642–645, DOI: 10.1126/science.1132772.
39. Pinto M.A., Henriques D., Chávez-Galarza J., Kryger P., Garnery L., van der Zee R., Dahle B., Soland-Reckeweg G., de la Rúa P., Dall’Olio R., Carreck N.L., Johnston J.S., Genetic integrity of the dark European honey bee (*Apis mellifera mellifera*) from protected populations: a genome-wide assessment using SNPs and mtDNA sequence data, *Journal of Apicultural Research*, 2014, Vol. 53, No. 23, pp. 269–278, DOI: 10.3896/IBRA.1.53.2.08.
40. Wallberg A., Bunikis I., Pettersson O.V., Mosbech M.B., Childers A.K., Evans J.D., Mikheyev A.S., Robertson H.M., Robinson G.E., Webster M.T., A hybrid de novo genome assembly of the honeybee, *Apis mellifera*, with chromosome-length scaffolds, *BMC Genomics*, 2019, Vol. 20, No. 1, pp. 275, DOI: 10.1186/s12864-019-5642-0.
41. Estoup A., Garnery L., Solignac M., Cornuet J.M., Microsatellite variation in honey bee (*Apis mellifera* L.) populations: hierarchical genetic structure and test of the infinite allele and stepwise mutation models, *Genetics*, 1995, Vol. 140, No. 2, pp. 679–695, DOI: 10.1093/genetics/140.2.679.
42. Franck P., Garnery L., Solignac M., Cornuet J.M., The origin of west European subspecies of honeybees (*Apis mellifera*): New insights from microsatellite and mitochondrial data, *Evolution*, 1998, Vol. 52, No. 4, pp. 1119–1134, DOI: 10.1111/j.1558-5646.1998.tb01839.x.
43. Alburaki M., Bertrand B., Legout H., Moulin S., Alburaki A., Sheppard W.S., Garnery L., A fifth major genetic group among honeybees revealed in Syria, *BMC Genetics*, 2013, Vol. 14, pp. 117, DOI: 10.1186/1471-2156-14-117.
44. Kandemir I., Kence M., Sheppard W.S., Kence A., Mitochondrial DNA variation in honey bee (*Apis mellifera* L.) populations from Turkey, *Journal of Apicultural Research*, 2006, Vol. 45, No. 1, pp. 33–38, DOI: 10.1080/00218839.2006.11101310.
45. Techer M.A., Clemencet J., Simiand C., Preaduth S., Azali H.A., Reynaud B., Helene D., Large-scale mitochondrial DNA analysis of native honey bee *Apis mellifera* populations reveals a new African subgroup private to the South West Indian Ocean islands, *BMC Genetics*, 2017, Vol. 18, No. 1, pp. 53, DOI: 10.1186/s12863-017-0520-8.
46. Kandemir I., Kence M., Kence A., Morphometric and electrophoretic variation in different honeybee (*Apis mellifera* L.) populations, *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 2005, Vol. 29, pp. 885–890.
47. Aumer D., Stolle E., Allsopp M., Mumoki F., Pirk C.W.W., Moritz R.F.A., A Single SNP Turns a Social Honey Bee (*Apis mellifera*) Worker into a Selfish Parasite, *Molecular Biology and Evolution*, 2019, Vol. 36, No. 3, pp. 516–526, DOI: 10.1093/molbev/msy232.
48. Garnery L., Franck P., Baudry E., Vautrin D., Cornuet J.-M., Solignac M., Genetic diversity of the west European honey bee (*Apis mellifera mellifera* and *A. m. iberica*). II. Microsatellite loci, *Genetics Selection Evolution*, 1998, Vol. 30, No. 1, pp. 49–74, DOI: 10.1051/gse:19980703.
49. Kumar Y., Khan M.S., Genetic variability of European honey bee, *Apis mellifera* in mid hills, plains and tarai region of India, *African Journal of Biotechnology*, 2014, Vol. 13, No. 8, pp. 916–925, DOI: 10.5897/AJB2013.13142.

Информация об авторах:

Р.А. Ильясов, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории нейробиологии развития

А.Ю. Ильясова, научный сотрудник лаборатории нейробиологии развития

В.Н. Саттаров, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии, географии и природопользования

Contribution of the author:

R.A. Ilyasov, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Developmental Neurobiology

A.Yu. Ilyasova, Researcher, Laboratory of Developmental Neurobiology

V.N. Sattarov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology, Geography and Nature Management

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОЛИМОРФИЗМ В ГЕНЕ *BMPR-1B* И ЕГО СВЯЗЬ С ЛИПИДНЫМ ОБМЕНОМ У ОВЕЦ

Е.А. Климанова, Т.В. Коновалова, О.И. Себежко, В.Л. Петухов, Е.И. Тарасенко, А.В. Назаренко, Д.А. Александрова

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: kateri2403@mail.ru

Для цитирования: *Полиморфизм в гене *BMPR-1B* и его связь с липидным обменом у овец / Е.А. Климанова, Т.В. Коновалова, О.И. Себежко, В.Л. Петухов, Е.И. Тарасенко, А.В. Назаренко, Д.А. Александрова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 186–191. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-186-191.*

Ключевые слова: овцы, романовская порода, ЛПВП, холестерин, триглицериды, полиморфизм, *BMPR-1B*.

Реферат. *Исследование посвящено изучению связи полиморфизма в гене рецептора костного морфогенетического белка 1В (*BMPR-1B*) с липидным обменом у овец романовской породы, разводимых на территории Западной Сибири. Исследование полиморфизмов, в том числе однонуклеотидных замен, является важным аспектом в селекции сельскохозяйственных животных. Они могут оказывать влияние на различные показатели продуктивности животных, устойчивость к болезням и адаптацию к окружающей среде. Данное исследование проводилось на 65 овцах романовской породы. Анализ ДНК осуществляли методом ПЦР–ПДРФ для выявления генотипов по гену *BMPR-1B*. Для электрофоретического фракционирования образцов ДНК использовали 3%-й гель с добавлением бромистого этидия. Дополнительно оценивали содержание тяжелых металлов в среде обитания овец, которое не превышало ПДК. Статистическая обработка данных проводилась с использованием программ Microsoft Office Excel 2007 и RStudio версии 1.2.5033. Анализ липидного обмена проводился на основе показателей холестерина, триглицеридов и липопротеинов высокой плотности (ЛПВП). Выявлена достоверная связь между генотипами *BMPR-1B* и уровнем ЛПВП. Установлено, что у гомозигот *WW* уровень ЛПВП был выше, чем у гетерозигот *WM* ($p < 0,05$). На уровень триглицеридов и холестерина в крови овец полиморфизм влияния не оказал. В литературе отсутствуют данные о прямой связи *BMPR-1B* и липидного обмена. Возможно косвенное влияние *BMPR-1B* через сигнальные пути и плеотропные эффекты гена. Таким образом, необходимо дальнейшее исследование полиморфизма для уточнения механизмов влияния *BMPR-1B* на липидный обмен.*

POLYMORPHISM IN THE *BMPR-1B* GENE AND ITS RELATIONSHIP WITH LIPID METABOLISM IN SHEEP

Е.А. Klimanova, T.V. Konovalova, O.I. Sebezko, V.L. Petukhov, E.I. Tarasenko, A.V. Nazarenko, D.A. Alexandrova

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: kateri2403@mail.ru

Keywords: sheep, Romanov breed, HDL, cholesterol, triglycerides, polymorphism, *BMPR-1B*.

Abstract. *The study is devoted to the investigation of the relationship between polymorphism in the bone morphogenetic protein receptor 1B (*BMPR-1B*) gene and lipid metabolism in Romanov sheep bred in Western Siberia. The study of polymorphisms, including single nucleotide substitutions, is an important aspect in the selection of agricultural animals. They can affect various indicators of animal productivity, disease resistance and adaptation to the environment. This study was conducted on 65 Romanov sheep. DNA analysis was performed by the PCR-RFLP method to identify genotypes for the *BMPR-1B* gene. For electrophoretic fractionation of DNA samples, 3% gel with the addition of ethidium bromide was used. In addition, the content of heavy metals in the sheep's habitat was estimated, which did not exceed the MAC. Statistical data processing was performed using Microsoft Office Excel 2007 and RStudio version 1.2.5033. Lipid metabolism was analyzed based on cholesterol, triglycerides, and high-density lipoprotein (HDL) levels. A significant relationship was found between the *BMPR-1B* genotypes and HDL levels. It was found that *WW* homozygotes had higher HDL levels than *WM* heterozygotes ($p < 0.05$). The polymorphism did not affect the blood triglyceride and cholesterol levels in sheep. There are no data in the literature on a direct relationship between *BMPR-1B* and lipid metabolism. An indirect effect of*

BMPR-1B is possible through signaling pathways and pleiotropic effects of the gene. Thus, further study of the polymorphism is necessary to clarify the mechanisms of BMPR-1B influence on lipid metabolism.

Полиморфизмы играют важную роль в селекции сельскохозяйственных животных. Они могут влиять на многие хозяйственно полезные признаки, такие как продуктивность, устойчивость к болезням и адаптация к условиям окружающей среды [1]. Изучение генетических вариаций позволяет выявлять и использовать наиболее перспективные аллели для улучшения пород и повышения экономической эффективности животноводства.

Одним из ключевых направлений является исследование полиморфизмов генов, связанных с молочной и мясной продуктивностью, с интерьерными параметрами животных [2, 3]. Например, полиморфизмы в гене каппа-казеина могут влиять на качество молока, в гене гормона роста – на скорость набора массы у крупного рогатого скота. Изучение связей полиморфизмов с хозяйственно полезными признаками помогает селекционерам выбирать особей с наиболее выгодными характеристиками для разведения [4]. Кроме того, полиморфизмы оказывают влияние на адаптацию животных к различным климатическим условиям. Понимание генетического потенциала отдельных особей позволяет создавать породы, лучше приспособленные к местным условиям, что повышает их выживаемость и продуктивность [5–7].

Таким образом, изучение полиморфизмов у сельскохозяйственных животных представляет собой важный инструмент для совершенствования селекционных программ, повышения продуктив-

ности и устойчивости животных, а также адаптации их к специфическим условиям содержания.

Целью данной работы было изучение связи полиморфизма в гене *BMPR-1B* с показателями липидного обмена у овец романовской породы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование выполнялось на 65 овцах романовской породы, разводимых на территории Западной Сибири. Образцы крови отбирали в стерильные вакуумные пробирки, содержащие ЭДТА. Выделение ДНК проводили на спин-колонках от компании Биолабмикс (готовый набор для выделения ДНК из крови, клеток, тканей на колонках).

После выделения проводили оценку ДНК с помощью прибора NanoDrop 2000 (Thermo Fisher Scientific, США). Он позволяет оценить количество и качество экстрагированной ДНК. Для ДНК соотношение оптической плотности A_{260}/A_{280} должно находиться в пределах 1,7–2,0, что является оптимальным показателем. Все полученные нами образцы были в пределах данного диапазона.

Анализ полиморфизма выполнялся методом ПЦР–ПДРФ. Для проведения полимеразной цепной реакции были подобраны праймеры (табл. 1). Количество циклов ПЦР – 35 циклов, температура отжига – 60 °С. Длина амплифицированного фрагмента составила – 140 п.н.

Таблица 1

Условия проведения ПЦР–ПДРФ по полиморфизму в *BMPR-1B*
Conditions for conducting PCR-RFLP for polymorphism in *BMPR-1B*

Специфические нуклеотидные последовательности (праймеры)	Ампликон, п.н.	Эндонуклеаза	Сайт узнавания рестриктазы	Генотипы
F: 5'-gtcgctatggggaagtttgatg-3'	140 п.н.	AvaII	G↓GWCC CCWG↓G	WW/WM/ MM
R: 3'-caagatgtttcatgcctcatcaacacggtc-5'				

Время обработки образцов эндонуклеазой рестрикции *AvaII* составило 4 ч. Анализ рестрикционных фрагментов проводили с помощью 3%-го агарозного геля с добавлением бромистого этидия.

Дополнительно произведена оценка содержания тяжелых металлов в почве, воде, кормах в местах разведения романовских овец, а также в органах и тканях. Данные показатели не превышали значения ПДК [8].

Экспериментальные данные обрабатывали с помощью таких методов описательной статистики, как средняя арифметическая с ошибкой, медиана, первый и третий квартили, межквартильный размах. Все расчеты проводились с использованием программ Microsoft Office Excel 2007 и RStudio версии 1.2.5033.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И
ОБСУЖДЕНИЕ**

По полиморфизму в гене *BMPR-1B* у овец романовской породы были установлены три генотипа: *WW* длиной 140 п.н. (частота генотипа 0,39), гетерозиготный генотип *WM* – 140, 110 и 30 п.н. (частота 0,55), *MM* – 110 и 30 п.н. (частота 0,06). Часто аллелей составила *W* – 0,66, *M* – 0,34.

Для проведения анализа липидного обмена у овец романовской породы были взяты такие показатели, как холестерин, триглицериды и липопротеины высокой плотности в крови овец романовской породы (табл. 2 и 3).

В табл. 2 представлены данные по содержанию холестерина и триглицеридов в крови овец с учетом генотипов по *BMPR-1B*.

Таблица 2

Содержание холестерина и триглицеридов в сыворотке крови с учетом генотипов овец, ммоль/л
Serum cholesterol and triglyceride levels according to sheep genotypes, mmol/l

Ген	Генотип	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Me
<i>Холестерин</i>			
<i>BMPR-1B</i>	<i>WW</i>	2,08±0,15	1,87
	<i>WM</i>	2,17±0,11	2,16
	<i>MM</i>	2,21±0,70	1,58
<i>Триглицериды</i>			
<i>BMPR-1B</i>	<i>WW</i>	0,31±0,02	0,29
	<i>WM</i>	0,26±0,03	0,19
	<i>MM</i>	0,28±0,09	0,19

Примечание. $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$ – средняя арифметическая с ошибкой; *Me* – медиана.

Уровень холестерина был в диапазоне 2,08–2,21 ммоль/л. Минимальное значение наблюдается у гомозигот *WW* – 2,08 ммоль/л, максимальное у гомозигот *MM* – 2,21 ммоль/л. Значение триглицеридов в крови составило от 0,26 ммоль/л у гетерозигот *WM* до 0,31 ммоль/л у гомозигот *WW*. Значения холестерина и триглицеридов находилось в пределах физиологической нормы [9]. По данным показателям связи с полиморфизмом

в гене *BMPR-1B* в нашей работе установлено не было.

Результаты проведенной статистической обработки данных по содержанию липопротеинов высокой плотности с учетом выявленных генотипов по *BMPR-1B* представлены в табл. 3. Максимальный уровень ЛПВП наблюдается у животных гетерозиготных *WM* по полиморфизму в *BMPR-1B*. У гомозигот *WW* и *MM* отличий в содержании ЛПВП не наблюдалось.

Таблица 3

Содержание ЛПВП в сыворотке крови в зависимости от генотипа животных романовской породы, ммоль/л

Serum HDL content depending on the genotype of Romanov breed animals, mmol/l

Ген	Генотип	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Me	Q_1	Q_3	<i>IQR</i>	<i>Cv</i> , %
<i>BMPR-1B</i>	<i>WW</i>	1,09±0,04	1,17	0,87	1,27	0,41	20,90
	<i>WM</i>	1,30±0,06	1,32	1,05	1,49	0,44	29,20
	<i>MM</i>	1,09±0,23	1,19	0,74	1,38	0,64	36,40

Примечание. $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$ – средняя арифметическая с ошибкой; *Me* – медиана; Q_1 – первая квартиль; Q_3 – третья квартиль; *IQR* – межквартильный размах; *Cv* – коэффициент вариации, %.

При анализе была установлена достоверная разность между содержанием липопротеинов высокой плотности у гомозигот *WW* по сравнению с гетерозиготами *WM* ($p < 0,05$). Уровень ЛПВП был в 1,12 раза выше у гомозигот по сравнению с

гетерозиготами. Также наблюдается высокая фенотипическая изменчивость ЛПВП ($Cv = 20,90$ %) у овец с гомозиготным генотипом *WW*.

Липидный обмен представляет собой сложный процесс, связанный с образованием, транс-

портировкой, утилизацией и хранением жиров в организме животных [9, 10]. Жиры играют ключевую роль в энергетическом балансе, структурной целостности клеточных мембран и синтезе важных биологически активных соединений, таких как стероиды и эйкозаноиды. Нарушения липидного обмена могут приводить к различным заболеваниям, включая ожирение и атеросклероз [11, 12].

Некоторые полиморфизмы могут оказывать значительное влияние на липидный обмен. Например, полиморфизмы в гене APOE (аполипопротеин E) связаны с изменениями уровня холестерина в крови [13]. Ген LPL (липопротеинлипаза) кодирует фермент, участвующий в расщеплении триглицеридов. Замена в данном гене могут влиять на активность фермента и, следовательно, на уровень триглицеридов в крови. Это может приводить к нарушению липидного обмена и повышенному риску сердечно-сосудистых заболеваний [14]. Ген PPAR γ (рецептор, активируемый пероксисомным пролифератором гамма), играет важную роль в регуляции экспрессии генов, участвующих в липидном обмене. Изменения в этом гене влияют на чувствительность клеток к инсулину и могут приводить к нарушению липидного обмена [15, 16]. Ген BMPR-1B (рецептор костного морфогенетического белка 1B), кодирующий рецептор костного морфогенетического белка типа 1B, играет важную роль в регуляции роста, развития и метаболизма у различных видов животных. Этот ген вовлечен в широкий спектр процессов, начиная от эмбрионального развития и заканчивая формированием костей, мышц и жировой ткани во взрослом организме. Мутации в гене BMPR-1B могут приводить к изменениям в росте и ремоделировании костей, влияя на активность остеобластов и остеокластов. Кроме того, BMPR-

1B участвует в регуляции мышечной массы и метаболизме жиров [17–19].

BMPR-1B входит в сигнальный путь BMP и играет важную роль в регуляции различных клеточных процессов, включая рост и дифференцировку клеток [18]. Возможно, изменения в этом сигнальном пути могут влиять на процессы, связанные с синтезом, транспортом и катаболизмом липидов, включая ЛПВП.

Учитывая широкий спектр действия генов сигнального пути BMPs, ген BMPR-1B может оказывать плеотропный эффект, влияя на несколько фенотипических признаков. Возможно, один из этих признаков косвенно связан с уровнем липопротеинов высокой плотности.

Таким образом, в литературе нет данных о прямой связи между геном BMPR-1B и показателями липидного обмена. Возможно, ген BMPR-1B косвенно влияет на уровень ЛПВП, однако данный вопрос требует дальнейшего исследования.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что концентрации холестерина, триглицеридов и липопротеинов высокой плотности с учетом генотипов по полиморфизму в гене BMPR-1B находились в пределах нормы, характерной для данного вида.

2. Изучена связь полиморфизма в гене BMPR-1B с липидным обменом у овец романовской породы в условиях Западной Сибири. Установлена связь полиморфизма с уровнем липопротеинов высокой плотности в крови. Показано, что у гомозигот WW по BMPR-1B ЛПВП были в 1,12 раза выше, чем у гетерозигот WM ($p < 0,05$). Влияние полиморфизма на уровень триглицеридов и холестерина в крови овец не наблюдается.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №24-26-00136).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Проблемы селекции сельскохозяйственных животных* / Б.Л. Панов, В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст [и др.]. – Новосибирск, 1997. – 283 с.
2. *Ерохин А.И., Карасев Е.А.* Романовская порода овец. – М.: МГУП, 2001. – 119 с.
3. *Биология, генетика и селекция овцы* / А.В. Кушнир, В.И. Глазко, В.Л. Петухов [и др.] – Новосибирск, 2010. – 520 с.
4. *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. – DOI: 10.31677/2072-6724-2021-61-4-126-136.
5. *Белая Е.В., Норкина В.М., Климанова Е.А.* Молекулярные основы фенотипических эффектов rs41923484 гена гормона роста GH на признаки молочной продуктивности КРС // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. – 2024. – Т. 60. – № 4. – С. 79–86. – DOI: 10.52368/2078-0109-2024-60-4-79-86.

6. Гончаренко Г.М. Генетические маркеры и их значение для селекционно-племенной работы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – № 6. – С. 47–54.
7. Генетические маркеры в селекции овец / Г.М. Гончаренко, Т.Н. Хамируев, С.М. Дашинимаев [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 4(69). – С. 147–161. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-69-4-147-161.
8. 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. – Vol. 9. – № 4. – P. 368–374.
9. Липидный статус овцематок романовской породы на юге Западной Сибири / И.Н. Морозов, О.И. Себежко, Е.И. Тарасенко [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36, № 7. – С. 71–76. – DOI: 10.53859/02352451_2022_36_7_71.
10. Углеводный и минеральный обмены у овец романовской породы в условиях Западной Сибири / Т.В. Коновалова, Е.А. Климанова, Е.И. Тарасенко [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 207–214. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-207-214.
11. Себежко О.И. Содержание и изменчивость общего холестерина у крупного рогатого скота разных направлений продуктивности // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 3. – С. 52–59. – DOI: 10.36508/RSATU.2024.90.95.008.
12. Межпородные различия содержания и изменчивости холестерина у крупного рогатого скота Сибири / О.И. Себежко, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 4(193). – С. 137–143. – DOI: 10.36718/1819-4036-2023-4-137-143.
13. Полиморфизм гена АРОЕ: влияние аллеля АРОЕ4 на системное воспаление и его роль в патогенезе болезни Альцгеймера / И.К. Малащенко, С.А. Крынский, М.В. Мамошина [и др.] // Медицинская иммунология. – 2018. – № 20(3). – С. 303–312. – DOI: 10.15789/1563-0625-2018-3-303-312.
14. Wu Y.Q., Hu Y.Y., Li G.N. Rare novel LPL mutations are associated with neonatal onset lipoprotein lipase (LPL) deficiency in two cases // BMC Pediatrics. – 2021. – Vol. 21, № 1. – DOI: 10.1186/s12887-021-02875-x.
15. Fat-tail allele-specific expression genes may affect fat deposition in tail of sheep / H. Mansourizadeh, M.R. Bakhtiarizadeh, L.C. de Almeida Regitano [et al.] // PLoS One. – 2024. – № 19(12). – DOI: 10.1371/journal.pone.0316046.
16. Sex-dependent effects of antenatal glucocorticoids on insulin sensitivity in adult sheep: role of the adipose tissue renin angiotensin system / G.A. Massmann, J. Zhang, W.J. Seong [et al.] // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. – 2017. – № 312(6). – P. 1029–1038. – DOI: 10.1152/ajpregu.00181.2016.
17. Климанова Е.А. Влияние полиморфизмов генов BMP-15 и BMPR-1B на скорость овуляции у овец // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: сб. IV Всерос. (национальной) науч. конф., Новосибирск, 20 дек. 2019 г. – Новосибирск, 2019. С. 81–84.
18. Климанова Е.А., Коновалова Т.В., Кочнев Н.Н. Полиморфизм локуса BMPR-1B у овец романовской породы в условиях Кузбасса // Зоотехния. – 2024. – № 1. – С. 15–17. – DOI: 10.25708/ZT.2023.56.90.005.
19. Тарасенко Е.И., Климанова Е.А. Ассоциация полиморфизма гена костного морфогенетического белка BMP-15 с уровнем тироксина в крови у овец романовской породы // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2024. – № 4. – С. 60–67. – DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2024.4.60-67.

REFERENCES

1. Panov B.L., Petukhov V.L., Ernst L.K., Gudilin I.I., Kulikova S.G., Korotkevich O.S., Dement'ev 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., Nozdryn G.A., *Problemy seleksii sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* (Problems of breeding farm animals), Novosibirsk: Nauka, 1997, 283 p.
2. Erokhin A.I., Karasev E.A., *Romanovskaya poroda ovets* (Romanov breed of sheep), Moskva: MGUP, 2001, 119 p.
3. Kushnir A.V., Glazko V.I., Petukhov V.L., Dimov G., Storozhuk S.I., *Biologiya, genetika i selektsiya ovtsy* (Biology, genetics and breeding of sheep), Novosibirsk, 2010, 520 p.
4. Klimanova E.A., Popovskij Z.T., Konovalova T.V., Tarasenko E.I., Korotkevich O.S., Sebezsko O.I., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2021, No. 4(61), pp. 126–136, DOI: 10.31677/2072-6724-2021-61-4-126-136. (In Russ.)
5. Belaya E.V., Norkina V.M., Klimanova E.A., *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya Vitebskaya ordena Znak pocheta gosudarstvennaya akademiya veterinarnoi meditsiny*, 2024, Vol. 60, No. 4, pp. 79–86. DOI: 10.52368/2078-0109-2024-60-4-79-86. (In Russ.)
6. Goncharenko G.M., *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2008, No. 6, pp. 47–54. (In Russ.)
7. Goncharenko G.M., Khamiruev T.N., Dashinimaev S.M., Khoroshilova T.S., Khalina O.L., Soloshchenko V.A., Ermolaev V.I., Kochnev N.N., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2023, No. 4(69), pp. 147–161. DOI: 10.31677/2072-6724-2023-69-4-147-161. (In Russ.)

8. Syso A.I., Lebedeva M.A., Cherevko A.S., Petukhov V.L., Sebezsko 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.
9. Morozov I.N., Sebezsko O.I., Tarasenko E.I., Klimanova E.A., *Dostizheniya nauki i tehniki APK*, 2022, Vol. 36, No. 7, pp. 71–76, DOI: 10.53859/02352451_2022_36_7_71. (In Russ.)
10. Konovalova T.V., Klimanova E.A., Tarasenko E.I., Korotkevich O.S., Petuhov V.L., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarniy universitet)*, 2024, No. 4(73), pp. 207–214, DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-207-214. (In Russ.)
11. Sebezsko O.I., *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva*, 2024, Vol. 16, No. 3, pp. 52–59, DOI: 10.36508/RSATU.2024.90.95.008. (In Russ.)
12. Sebezsko O.I., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Sebezsko A.N., Marenkov V.G., Zheltikov A.I., Konovalova T.V., Osinceva L.A., *Vestnik KrasGAU*, 2023, No. 4(193), pp. 137–143, DOI: 10.36718/1819-4036-2023-4-137-143. (In Russ.)
13. Malashenkova I.K., Krynskiy S.A., Mamoshina M.V., Didkovskiy N.A., *Medicinskaya immunologiya*, 2018, No. 20(3), pp. 303–312, DOI: 10.15789/1563-0625-2018-3-303-312. (In Russ.)
14. Wu Y.Q., Hu Y.Y., Li G.N., Rare novel LPL mutations are associated with neonatal onset lipoprotein lipase (LPL) deficiency in two cases, *BMC Pediatrics*, 2021, Vol. 21, No. 1, DOI: 10.1186/s12887-021-02875-x.
15. Mansourizadeh H., Bakhtiarzadeh M.R., de Almeida Regitano L.C., Bruscardin J.J., Fat-tail allele-specific expression genes may affect fat deposition in tail of sheep, *PLoS One*, 2024, No. 19(12), DOI: 10.1371/journal.pone.0316046.
16. Massmann G.A., Zhang J., Seong W.J., Kim M., Figueroa J., Sex-dependent effects of antenatal glucocorticoids on insulin sensitivity in adult sheep: role of the adipose tissue renin angiotensin system, *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 2017, No. 312(6), pp. 1029–1038, DOI: 10.1152/ajpregu.00181.2016.
17. Klimanova E.A., *Rol' agrarnoi nauki v ustoichivom razvitiy sel'skikh territorii* (The role of agricultural science in sustainable development of rural areas), Proceedings of the IV All-Russian (National) Scientific Conference, Novosibirsk, 2019, pp. 81–84. (In Russ.)
18. Klimanova E.A., Konovalova T.V., Kochnev N.N., *Zootekhnika*, 2024, No. 1, pp. 15–17, DOI: 10.25708/ZT.2023.56.90.005. (In Russ.)
19. Tarasenko E.I., Klimanova E.A., *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh*, 2024, No. 4, pp. 60–67, DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2024.4.60-67. (In Russ.)

Информация об авторах:

Е.А. Климанова, научный сотрудник
 Т.В. Коновалова, старший преподаватель
 О.И. Себежко, кандидат биологических наук
 В.Л. Петухов, доктор биологических наук, профессор
 Е.И. Тарасенко, аспирант
 А.В. Назаренко, научный сотрудник
 Д.А. Александрова, аспирант

Contribution of the authors:

E.A. Klimanova, researcher
 T.V. Konovalova, senior lecturer
 O.I. Sebezsko, PhD in Biological Sciences, associate professor
 V.L. Petukhov, Doctor of Biological Sciences, professor
 E.I. Tarasenko, PhD student
 A.V. Nazarenko, researcher
 D.A. Alexandrova, PhD student

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОКАЗАТЕЛИ БЕЛКОВОГО ОБМЕНА У ОВЕЦ С РАЗНЫМИ ГЕНОТИПАМИ ПО ГЕНУ МИОСТАТИНА

Т.В. Коновалова, Е.А. Климанова, А.В. Назаренко, Е.И. Тарасенко, О.И. Себежко

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: andrey2221100@mail.ru

Для цитирования: Показатели белкового обмена у овец с разными генотипами по гену миостатина / Т.В. Коновалова, Е.А. Климанова, А.В. Назаренко, Е.И. Тарасенко, О.И. Себежко // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 192–199. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-192-199.

Ключевые слова: овцы, романовская порода, белковый обмен, генотипы, миостатин.

Реферат. В статье приводятся результаты исследования показателей белкового обмена у овец романовской породы с разными генотипами по гену миостатина (MSTN). Исследование проводилось на овцах романовской породы в возрасте 6–7 мес. Животные содержались в одинаковых условиях и получали стандартизированный корм. Для биохимических исследований использовалась кровь, полученная методом вакуумной экстракции. Биохимические показатели животных определяли с использованием реактивов производства ЗАО «Вектор-Бест» на биохимическом анализаторе Photometer 5010 V5+ на базе лаборатории ветеринарной генетики и биохимии кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии Новосибирского ГАУ. Статистическая обработка данных выполнена с использованием программ Microsoft Office Excel 2016 и R Studio 2024.12.1+563. Нормальность распределения признаков оценивали с помощью критерия Шапиро–Уилка (W). Достоверность признаков между генотипами оценивали по t -критерию Стьюдента. В ходе исследования локуса MSTN в популяции романовских овец в условиях Западной Сибири выявлено два генотипа: гетерозиготный генотип CD (с частотой 0,58) и гомозиготный генотип DD (частота 0,42). Концентрация альбуминов и АЛТ у обоих генотипов имела нормальное распределение ($p > 0,05$). Установлено, что генотип CD по гену MSTN ассоциирован с повышенным содержанием общего белка в сыворотке крови, снижением активности АЛТ и значительным снижением активности АСТ. Носители аллеля DD демонстрируют повышенный уровень альбуминов. Выявлена связь генотипа по локусу MSTN с содержанием альбумина в сыворотке крови у овец романовской породы. Гомозиготные животные DD превосходят в 1,3 раза гетерозигот CD по уровню альбумина. Показана более высокая фенотипическая изменчивость уровней АЛТ и АСТ у животных с генотипами CD в сравнении с овцами с генотипами DD. Полученные результаты по биохимическому профилю овец могут быть использованы для оценки интєрьера романовской породы с учетом генотипов в соответствии с полиморфизмом по гену миостатина.

PROTEIN METABOLISM INDICATORS IN SHEEP WITH DIFFERENT GENOTYPES OF THE MYOSTATIN GENE

T.V. Konovalova, E.A. Klimanova, A.V. Nazarenko, E.I. Tarasenko, O.I. Sebezko

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: andrey2221100@mail.ru

Keywords: sheep, Romanov breed, protein metabolism, genotype, myostatin.

Abstract. The article presents the results of a study of protein metabolism parameters in Romanov sheep with different genotypes for the myostatin gene (MSTN). The study was conducted on Romanov sheep aged 6–7 months. The animals were kept in the same conditions and received standardized feed. Blood obtained by vacuum extraction was used for biochemical studies. Biochemical parameters of animals were determined using reagents manufactured by Vector-Best CJSC on a Photometer 5010 V5+ biochemical analyzer at the Laboratory of Veterinary Genetics and Biochemistry of the Department of Veterinary Genetics and Biotechnology of Novosibirsk State Agrarian University. Statistical data processing was performed using Microsoft Office Excel 2016 and R Studio 2024.12.1+563. The normality of the distribution of features was assessed using the Shapiro-Wilk test (W). The reliability of features between genotypes was assessed using Student's t -test. During the study of the MSTN locus in the Romanov sheep population in Western Siberia, two genotypes were identified: the heterozygous CD genotype

(with a frequency of 0.58) and the homozygous DD genotype (frequency of 0.42). The concentration of albumin and ALT in both genotypes had a normal distribution ($p > 0.05$). It was found that the CD genotype for the MSTN gene is associated with an increased content of total protein in the blood serum, a decrease in ALT activity, and a significant decrease in AST activity. Carriers of the DD allele demonstrate an increased level of albumin. A relationship was found between the genotype for the MSTN locus and the albumin content in the blood serum of Romanov sheep. Homozygous DD animals exceed CD heterozygotes by 1.3 times in albumin level. Higher phenotypic variability of ALT and AST levels in animals with CD genotypes was shown compared to sheep with DD genotypes. The obtained results on the biochemical profile of sheep can be used to evaluate the interior of the Romanov breed taking into account genotypes in accordance with polymorphism in the myostatin gene.

Романовская порода овец – это одна из старейших и наиболее известных мясо-шерстных пород, выведенная в XVIII в. в Ярославской области России. Она относится к грубошерстным породам овчинно-мясного направления и ценится за свою плодовитость, выносливость и неприхотливость в содержании [1].

Белковый обмен у овец представляет собой сложный физиологический процесс, находящийся под влиянием возрастных, сезонных, генетических и онтогенетических факторов [2]. Научные исследования демонстрируют его прямую связь с продуктивностью, адаптационными способностями и метаболической пластичностью животных [3, 4].

В первом месяце жизни ягнят наблюдается низкий уровень общего белка в крови, который постепенно увеличивается по мере роста и развития. Например, у ягнят карачаевской породы в зоне с достаточной йодной обеспеченностью уровень общего белка в первом месяце составляет около 63,38 г/л, а к двум месяцам увеличивается на 12,7–13 %. У взрослых овец белковый обмен более стабилен и зависит от условий содержания и питания [5].

Генетические особенности породы могут существенно влиять на интенсивность белкового обмена [6, 7]. Например, помесные баранчики демонстрируют более эффективное использование азота по сравнению с чистопородными животными [8].

Условия содержания, включая высоту местности и уровень йода в кормах, влияют на гормональный фон и белковый обмен. Недостаток йода снижает активность щитовидной железы [9], ухудшая синтез белков [10]. Качество кормов определяет азотистый баланс и эффективность белкового обмена у овец [11], а правильное питание поддерживает положительный азотистый баланс, важный для роста молодняка [12].

Цель исследования – установить средние показатели, характеризующие белковый обмен у овец и их взаимосвязь между животными с разными генотипами.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эксперименты проведены на овцах романовской породы в Кемеровской области. Была отобрана группа овец в количестве 26 голов в возрасте 6–7 мес. Животные содержались в одинаковых условиях и получали стандартизированный корм, что регламентируется постановлением Коллегии экономической комиссии от 13.02.2018 № 27 «Об утверждении единых ветеринарно-санитарных требований, предъявляемых к объектам, подлежащим ветеринарному контролю» [13]. Рацион составлен в соответствии с ГОСТ 10199–2017 «Комбикорм-концентраты для овец и коз. Общие технические условия» [14]. Корма давали согласно требованиям МДУ элементов в кормах № 123-4/281-8 «Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках» [15]. Вода для поения использовалась второго класса согласно ГОСТ 2761–84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» [16] и соответствовала требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» [17]. На территории районирования популяции овец романовской породы сотрудниками Института почвоведения и агрохимии СО РАН проводился мониторинг почв, воды, кормов [18]. Также был установлен радионуклидный профиль в кормовых культурах [19] и тяжелых металлов в волосе животных и человека [20].

Было отобрано 26 проб сыворотки крови после голодной диеты 12–18 ч острым методом с соблюдением правил асептики и антисептики. Биохимические показатели измеряли на полуавтоматическом анализаторе Photometer 5010 V5+ с помощью стандартных методик, разработанных для определения биохимических показателей животных и человека с использованием реактивов производства ЗАО «Вектор-Бест».

Выделение ДНК проводили из цельной крови с помощью готового коммерческого набора Биолабмикс. Амплификацию исследуемого фрагмента гена MSTN с использованием праймеров 5'-AGAACAGCGAGCAGAAGGAA-3' и 3'-CGTCGTAACGTGGTAGTCAT-5', рестрикцию фрагмента гена эндонуклеазой рестрикции HindIII.

Результаты исследований обработаны методами описательной статистики с использованием стандартного программного обеспечения из пакета Microsoft office 2016 и языка программирования R на базе R studio (2024.12.1+563). Были установлены показатели вариационной статистики: \bar{x} – средняя арифметическая, $S_{\bar{x}}$ – ошибка средней, Me – медиана, σ – среднее квадратическое отклонение, Q1 – первый квартиль, Q3 – третий квартиль, IQR – межквартильный размах, lim –

минимальное и максимальное значение признака. Межквартильный размах (IQR) вычисляли как разность между третьим и первым квартилями. Нормальность распределения признаков оценивали с помощью критерия Шапиро–Уилка (W). Достоверность признаков между генотипами оценивали по t-критерию Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе исследования локуса MSTN в популяции романовских овец в условиях Западной Сибири выявлено два генотипа: гетерозиготный генотип CD (с частотой 0,58) и гомозиготный генотип DD (частота 0,42). Концентрация альбуминов и АЛТ у обоих генотипов имела нормальное распределение ($p > 0,05$). В табл. 1 приведены показатели белкового обмена.

Таблица 1

Среднее содержание показателей белкового обмена с учетом генотипа овец по гену миостатина
Average content of protein metabolism indicators taking into account the genotype of sheep for the myostatin gene

Показатель	Генотип	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Me	Референсные значения
Общий белок, г/л	CD	83,80±2,03	80,00	60,00–79,00*
	DD	79,80±2,61	78,50	
Альбумины, г/л	CD	31,60±1,60	29,50	24,00–30,00*
	DD	38,20±1,50 ^x	39,00	
АЛТ, ЕД/л	CD	22,90±1,90	24,20	26,00–34,00*
	DD	24,50±1,47	26,60	
АСТ, ЕД/л	CD	36,40±2,95	32,10	60,00–280,00*
	DD	38,10±2,25	36,30	

Примечание: ^x – $p < 0,05$; * [33].

Содержание общего белка в сыворотке крови у овец с генотипом CD было выше предельной границы физиологической нормы на 1,25 %, альбуминов – у животных с аллелем DD на 23,08 %. Концентрация АЛТ у овец с генотипом CD была ниже предельно допустимой границы нормы (на 6,92 %), а также уровень АСТ по обоим генотипам был ниже допустимого предела референсных значений (на 39,5–46,5 % соответственно).

Установлена достоверная разность между генотипами локуса MSTN по содержанию альбумина в сыворотке крови. Так, средний уровень у гомозиготных животных с генотипом DD был в 1,3 раза выше, чем у овец с генотипом CD ($p < 0,05$).

В табл. 2 представлена изменчивость показателей белкового обмена.

Таблица 2

Показатели изменчивости белкового обмена в зависимости от генотипа овец
Variability indices of protein metabolism depending on the sheep genotype

Показатель	Генотип	σ	Q1	Q3	IQR	lim
1	2	3	4	5	6	7
Общий белок, г/л	CD	10,70	78,00	88,00	10,00	63,00–114,00
	DD	12,80	73,00	85,00	12,00	63,00–128,00

1	2	3	4	5	6	7
Альбумины, г/л	CD	8,44	25,00	38,00	13,00	19,00–54,00
	DD	7,34	33,20	43,60	10,30	23,00–56,00
АЛТ, ЕД/л	CD	10,20	15,80	29,70	13,90	3,84–40,20
	DD	7,20	19,00	30,00	11,00	9,34–37,30
АСТ, ЕД/л	CD	15,90	28,40	41,40	13,00	12,50–104,70
	DD	11,00	29,00	46,90	17,90	21,60–60,40

Исследования показали связь между уровнем альбумина и полиморфизмом в гене MSTN у овец. У животных с генотипом CD по концентрации АЛТ и АСТ в сыворотке крови наблюдается высокая изменчивость, у DD по этим же ферментам средняя.

Определенные мутации в гене MSTN могут усиливать формирование мышечной массы, что делает их более перспективными для мясного производства.

Полученные результаты по биохимическому профилю овец могут быть использованы для оценки интерьера романовской породы с учетом генотипов в соответствии с полиморфизмом по гену миостатина.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Ген миостатина (MSTN), также известный как фактор роста и дифференцировки 8 (GDF-8), играет ключевую роль в регуляции роста и развития мышечной ткани у животных, включая овец. Этот ген кодирует белок, который подавляет рост и дифференцировку мышечных клеток [21, 22]. Миостатин секретируется мышечными клетками и действует по принципу обратной связи [23]. При увеличении мышечной массы увеличивается секреция миостатина, что тормозит дальнейший рост мышц [24]. Ген MSTN является одним из наиболее перспективных генов-кандидатов, влияющих на мясную продуктивность овец [25].

Белковый состав крови овец демонстрирует выраженную возрастную динамику и видовую специфику [26, 27]. Эти белки выполняют ключевые функции в поддержании гомеостаза и адаптивных реакциях организма [28]. Альбумины (поддержание коллоидно-осмотического давления, транспорт жирных кислот, гормонов и витаминов, резерв аминокислот (30–32 г/л у взрослых овец). У плодов концентрация альбуминов возрастает с 0,72 г/% (2 мес.) до 3,57 г/% (5 мес.). У новорожденных ягнят западно-сибирской породы уровень альбуминов на 14,2 % выше у осеннего приплода [29].

Аланинаминотрансфераза (АЛТ) и аспартаминотрансфераза (АСТ) являются ферментами, играющими ключевую роль в метаболизме аминокислот и служащими важными индикаторами функции печени и сердца у животных, включая овец [30]. АЛТ участвует в катаболизме белков, катализируя обратимую реакцию между аланином и α -кетоглутаратом с образованием пировиноградной кислоты и глутамата. АСТ участвует в метаболизме аминокислот, катализируя обратимую реакцию между аспаратом и α -кетоглутаратом с образованием оксалоацетата и глутамата [31, 32].

В исследованиях других авторов отмечается, что у 9-месячных ягнят породы катадин общий белок составляет 62,71 г/л, что значительно ниже, чем в нашем исследовании. Альбумины у романовских и катадинских овец достигают 46,76 г/л в 9 мес. [34]. Высокая изменчивость АЛТ и АСТ у животных с разными генотипами может быть обусловлена особенностями метаболизма, функцией печени или влиянием генотипа [35–37].

Изучение полиморфизмов генов у различных пород животных показывает их значимость для селекции [38], особенно это важно для редких и исчезающих пород животных [39, 40].

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что у овец романовской породы генотип CD по гену MSTN ассоциирован с повышенным содержанием общего белка в сыворотке крови. Наблюдалось снижение активности АЛТ и АСТ.

2. Выявлена связь генотипа по локусу MSTN с содержанием альбумина в сыворотке крови у овец романовской породы. Гомозиготные животные DD превосходят в 1,3 раза гетерозигот CD по уровню альбумина.

3. Показана более высокая фенотипическая изменчивость уровней АЛТ и АСТ у животных с генотипами CD в сравнении с генотипами DD.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-26-00136).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *The romanov breed of sheep in Siberia* / O.I. Sebezshko, E.V. Kamaldinov, Y.I. Fedyaev [et al.] // Proceeding The 2nd World Conference on Sheep. – Nanjing, China: The International Society of Zoological Sciences, 2018. – P. 11–12.
2. Дементьева Т.А., Короткевич О.С. Практикум по биологической химии. – Новосибирск: НГАУ, 2011. – 260 с.
3. Проблемы селекции сельскохозяйственных животных / Б.Л. Панов, В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1997. – 283 с.
4. Биология, генетика и селекция овцы / А.В. Кушнир, В.И. Глазко, В.Л. Петухов [и др.]. – Новосибирск: Прометей, 2010. – 520 с.
5. Михайленко А.К., Ашихмина Е.В. Гормональный профиль, белковый обмен овец в зависимости от возраста и условий содержания // Сельскохозяйственный журнал. – 2012. – № 2(1). – С. 132–135.
6. Короткевич О.С., Костомахин Н.М. Биохимия мяса. – Новосибирск: НГАУ, 2002. – 62 с.
7. Экологическая генетика / О.И. Себежко, В.Л. Петухов, О.С. Короткевич [и др.]. – Новосибирск: НГАУ, 2011. – 567 с.
8. Морфологические и биохимические показатели крови полутонкорунных овец / Б.Б. Траисов, И.С. Бейшо-ва, Ю.А. Юлдашбаев [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 2(94). – С. 315–319.
9. Copper content in hair, bristle and feather in different species reared in Western Siberia / T.V. Konovalova, K.N. Narozhnykh, V.L. Petukhov [et al.] // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. – 2017. – Vol. 44, N 5. – P. 74. – DOI: 10.1016/j.jtemb.2017.03.304.
10. Афанасьева А.И., Буц Н.Ю., Катаманов С.Г. Белковый состав сыворотки крови овец западно-сибирской мясной породы в зависимости от сезона рождения // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 88(2). – С. 266–270.
11. Iron content in soil, water, fodder, grain, organs and muscular tissues in cattle of Western Siberia (Russia) / K.N. Narozhnykh, T.V. Konovalova, J.I. Fedyaev [et al.] // Indian Journal of Ecology. – 2017. – Vol. 44, N 2. – P. 217–220.
12. Васильева С.В. Сравнительный анализ показателей белкового обмена у крупного и мелкого рогатого скота в лактационный период // Санкт-Повышение продукции животноводства на современном этапе: сб. науч. тр. по мат-м Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 95-летию каф. Частн. животноводства. – Витебск, 2022. – С. 263–264.
13. Коллегия евразийской экономической комиссии. Решение «Об утверждении единых ветеринарных (ветеринарно-санитарных) требований, предъявляемых к объектам, подлежащим ветеринарному контролю (надзору)» от 13.02.2018. – № 27. – 20 с.
14. ГОСТ 10199–2017. Комбикорм-концентраты для овец и коз. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2020. – 12 с.
15. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках от 07.08.1987. – № 123-4/281-8. – 2 с.
16. ГОСТ 2761–84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора. – М.: Изд-во стандартов, 2009. – 12 с.
17. СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. – М.: Минздрав России, 2011. – 59 с.
18. 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. – Vol. 9, N 4. – P. 368–337.
19. Content of 137 Cs and 90 Sr in the forages of various ecological zones of Western Siberia / O.S. Korotkevich, V.L. Petukhov, O.I. Sebezshko [et al.] // Russian Agricultural Sciences. – 2014. – Vol. 40, N 3. – P. 195–197.
20. Content of heavy metals in the hair / S.A. Patrashkov, V.L. Petukhov, O.S. Korotkevich, I.V. Petukhov // Journal De Physique. IV: JP. – Grenoble, 2003. – Vol. 107–102. – P. 1025–1027. – DOI: 10.1051/jp4:20030473.
21. Климанова Е.А., Александрова Д.А., Кочнев Н.Н. Полиморфизмы гена миостатина у животных (обзор) // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 2(71). – С. 209–219. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-209-219.
22. Полиморфизм гена миостатина (MSTN) у овец породы советский меринос / В.И. Трухачев, А.Ю. Криворучко, В.С. Скрипкин, О.А. Яцык // Вестник АПК Ставрополя. – 2016. – № 2(22). – С. 58–65.
23. 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. – Vol. 38, N 3. – P. 145.
24. Эффективность использования SNP-маркеров в гене MSTN в селекции кур пушкинской породы / Н.В. Дементьева, А.Б. Вахрамеев, Т.А. Ларкина, О.В. Митрофанова // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2019. – Т. 23, № 8. – С. 993–999.

25. *Генетические* маркеры мясной продуктивности овец (*Ovis aries* L.). Сообщение I. Миостатин, кальпаин, кальпаастатин / В.И. Трухачев, М.И. Селионова, А.Ю. Криворучко, А.М.М. Айбазов // *Сельскохозяйственная биология*. – 2018. – Т. 53, № 6. – С. 1107–1119.
26. *Correlations* of some biochemical and hematological, parameters with polymorphisms in *asl*-casein and β -lactoglobulin genes in Romanov sheep breed / T.V. Konovalova, O.I. Sebezhko, O.S. Korotkevich [et al.] // *Proceedings of the International Symposium on Animal Science ISAS 2018*. – University of Belgrade, Serbia. – 2018. – P. 47.
27. *Исаева Д.А., Короткевич О.С.* Характеристика эдильбаевской породы овец Республики Казахстан // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*, 2021. – № 4(61). – С. 157–163.
28. *Глазко В.И.* Биохимическая генетика овец. – Новосибирск, 1985. – 168 с.
29. *Борисов Д.Р.* Белковый состав сыворотки крови овец, коз и свиней в период эмбрионального развития // *Ветеринария Кубани*. – 2014. – № 1. – С. 5.
30. *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. – DOI: 10.31677/2072-6724-2020-57-4-82-87.
31. *Effect* of age and gender on some blood biochemical parameters of apparently healthy small ruminants from Southern Punjab in Pakistan / S. Kiran, A.M. Bhutta, B.A. Khan [et al.] // *Asian Pac. J. Trop. Biomed.* – 2012. – № 2(4). – P. 304–306.
32. *Implications* of breed, sexual dimorphism and age on aspartate aminotransferase (AST) levels in the blood serum of sheep managed under traditional extensive system / G.O. Onasanya, A.S. Ayotunde, M.T. Sanni [et al.] // *J. Dairy. Vet. Anim. Res.* – 2017. – № 5(5). – P. 153–155.
33. *Fielder S.* Serum biochemical references ranges. Appendixes. Merck veterinary manual // Elsevier. – 2015.
34. *Новгородова И.П., Иолчиев Б.С., Прытков Ю.А.* Сравнительная характеристика биохимических показателей крови молодняка овец в зависимости от породы и возраста // *Достижения науки и техники АПК*, 2020. – Т. 34, № 5. – С. 69–72.
35. *Влияние* генотипа баранов-производителей романовской породы на аккумуляцию цинка в шерсти потомства / Л. Мингжун, Р.Т. Саурбаева, Л. Венронг [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2019. – № 3(52). – С. 91–97. – DOI: 10.31677/2072-6724-2019-52-3-91-97.
36. *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. – DOI: 10.31677/2072-6724-2021-61-4-126-136.
37. *Влияние* генотипа баранов-производителей на количество фрагментов хромосом в клетках потомства / В.А. Андреева, Л. Венронг, Л. Мингжун [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2019. – № 4(53). – С. 23–31. – DOI: 10.31677/2072-6724-2019-53-4-23-31.
38. *Патент № 2414124 С2. РФ.* Способ получения высокопродуктивных производителей сельскохозяйственных животных / В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст, А.И. Желтиков [и др.]. – № 2009122691/10; заявл. 15.06.2009; опубл. 20.03.2011. – 8 с.
39. *Патент № 2270562 С2. РФ.* Способ сохранения редких и исчезающих пород животных / В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст, А.И. Желтиков [и др.]. – № 2004113866/13; заявл. 05.05.2004; опубл. 27.02.2006. – 8 с.
40. *Патент № 2765236 С1. РФ.* Способ оценки содержания меди в печени овец / Р.Т. Саурбаева, А.А. Андреева, Т.В. Коновалова [и др.]. – № 20211006117; заявл. 09.03.2021; опубл. 26.01.2022. – 8 с.

REFERENCES

1. Sebezhko O.I., Kamaldinov E.V., Fedyayev Y.I., Shishin N.I., Li W., Liu M., Saurbaeva R.T., Andreeva V.A., Guseva A.P., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Narozhnykh K.N., Osadchuk L.V., The romanov breed of sheep in Siberia, *Proceeding The 2nd World Conference on Sheep*, The International Society of Zoological Sciences, 2018, pp. 11–12.
2. Dement'eva T.A., Korotkevich O.S., *Praktikum po biologicheskoi khimii* (Practical training in biological chemistry), Novosibirsk: NGAU, 2011, 260 p.
3. 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., Nozdryn G.A., *Problemy selekcii sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh* (Farm Animal Problems), Novosibirsk: Nauka, 1997, 283 p.
4. Kushnir A.V., Glazko V.I., Petukhov V.A., Dimov G., Storozhuk S.I., *Biologiya, genetika i selektsiya ovtsy* (Biology, genetics and sheep breeding), Novosibirsk: NGAU, 2010, 524 p.
5. Mikhailenko A.K., Ashikhmina E.V., *Sel'skokhozyaystvennyi zhurnal*, No. 2(1), 2012, pp. 132–135. (In Russ.)
6. Korotkevich O.S., Kostomakhin N.M., *Biokhimiya myasa* (Biochemistry of meat), Novosibirsk: NGAU, 2002, 62 p.

7. Sebezshko O.I., Petukhov V.L., Korotkevich O.S., Sokolov V.A., Dragavtsev V.A., *Ekologicheskaya genetika* (Ecological genetics), Novosibirsk: NGAU, 2011, 567 p.
8. Traisov B.B., Beishova I.S., Yuldashbaev Yu.A., *Izvestiya Orenburgskogo GAU*, No. 2 (94), pp. 315–319. (In Russ.)
9. Konovalova T.V., Narozhnykh K.N., Petukhov V.L., Fedyayev Y.I., Copper content in hair, bristle and feather in different species reared in Western Siberia, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2017, Vol. 44, pp. 74.
10. Afanas'eva A.I., Buts N.Yu., Katamanov S.G., *Vestnik Altaiskogo GAU*, 2012, No. 88(2), pp. 266–270. (In Russ.)
11. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Fedyayev J.I., Shishin N.I., Syso A.I., Sebezshko O.I., Petukhov V.L., Kamaldinov E.V., Korotkevich O.S., Osadchuk L.V., Iron content in soil, water, fodder, grain, organs and muscular tissues in cattle of Western Siberia (Russia), *Indian Journal of Ecology*, 2017, Vol. 44, No. 2, pp. 217–220.
12. Vasil'eva S.V., *Povyshenie produktivnosti zhivotnovodstva na sovremennom etape* (Increasing livestock production at the present stage), Collection of scientific articles, Vitebsk, 2022, pp. 263–264. (In Russ.)
13. *Kollegiya evraziyskoi ekonomicheskoi komissii. Reshenie «Ob utverzhdenii edinykh veterinarnykh (veterinarno-sanitarnykh) trebovaniy, predyavlyayemykh k ob»ektam, podlezhashchim veterinarnomu kontrolyu (nadzoru)»* ot 13.02.2018, No. 27, 20 p. (In Russ.)
14. *GOST 10199–2017. Kombikorm-kontsentraty dlya ovets i koz*, Moscow: Standartinform, 2020, 12 p. (In Russ.)
15. *Vremennyi maksimal'no dopustimyy uroven' (MDU) sodержaniya nekotorykh khimicheskikh elementov i gossipola v kormakh dlya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh i kormovykh dobavkakh*, No. 123-4/281-8, 2 p. (In Russ.)
16. *GOST 2761–84. Istochniki tsentralizovannogo khozyaystvenno-pit'evogo vodosnabzheniya. Gigienicheskie, tekhnicheskies trebovaniya i pravila vybora*, Moscow: Izd-vo standartov, 2009, 12 p. (In Russ.)
17. *SanPiN 2.1.4.1074–01. Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva. Gigienicheskie trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti sistem goryachego vodosnabzheniya*, Moscow: Minzdrav Rossii, 2011, 59 p. (In Russ.)
18. Syso A.I., Lebedeva M.A., Cherevko A.S., Petukhov V.L., Sebezshko 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.
19. Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Sebezshko O.I., Barinov Ye.Ya., Konovalova T.V., Content of 137 Cs and 90 Sr in the forages of various ecological zones of Western Siberia, *Russian Agricultural Sciences*, 2014, Vol. 40, No. 3, pp. 195–197.
20. Patrashkov S.A., Petukhov V.L., Korotkevich O.S., Petukhov I.V., Content of heavy metals in the hair, *Journal De Physique*, Vol. 107–102, pp. 1025–1027.
21. Klimanova E.A., Aleksandrova D.A., Kochnev N.N., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2024, No. 2(71), pp. 209–219. (In Russ.)
22. Trukhachev V.I., Krivoruchko A.Yu., Skripkin V.S., Yatsyk O.A., *Vestnik APK Stavropol'ya*, 2016, No. 2(22), pp. 58–65. (In Russ.)
23. Konovalova T.V., Andreeva V.A., Saurbaeva R.T., Korotkevich O.S., Kostomakhin N.M., Petukhov V.L., 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, Vol. 38, No. 3, 145 p.
24. Dement'eva N.V., Vakhrameev A.B., Larkina T.A., Mitrofanova O.V., *Vavilovskii zhurnal genetiki i elektzii*, 2019, T. 23, No. 8, pp. 993–999. (In Russ.)
25. Trukhachev V.I., Selionova M.I., Krivoruchko A.Yu., Aibazov A.M.M., *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2018, T. 53, No. 6, pp. 1107–1119. (In Russ.)
26. Konovalova T.V., Sebezshko O.I., Korotkevich O.S., Correlations of some biochemical and hematological, parameters with polymorphisms in as1-casein and β -lactoglobulin genes in Romanov sheep breed, *Proceedings of the International Symposium on animal science*, 2018, 47 p.
27. Isaeva D.A., Korotkevich O.S., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2021, No. 4(61), pp. 157–163. (In Russ.)
28. Glazko V.I., *Biokhimicheskaya genetika ovets* (Biochemical genetics of sheep), Novosibirsk, 1985, 168 p. (In Russ.)
29. Borisov D.R., *Veterinariya Kubani*, 2014, No. 1, pp. 5. (In Russ.)
30. Klimanova E. A., Konovalova T.V., Andreeva V.A., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Nazarenko Yu.S., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2020, No. 4(57), pp. 82–87. (In Russ.)
31. Kiran S., Bhutta A.M., Khan B.A., Durrani S., Ali M., Ali M., Iqbal F., Effect of age and gender on some blood biochemical parameters of apparently healthy small ruminants from Southern Punjab in Pakistan, *Asian Pacific Journal Tropical Biomedicine*, 2012, No. 2(4), pp. 304–306.
32. Onasanya G.O., Ayotunde A.S., Sanni M.T., Wheto M., Lkeobi C.O.N., Decampos J.S., Oni A., Implications of breed, sexual dimorphism and age on aspartate aminotransferase (AST) levels in the blood serum of sheep managed under traditional extensive system, *Journal of Dairy, Veterenary and Animal Research*, 2017, No. 5(5), pp. 153–155.
33. Fielder S., Serum biochemical references ranges. Appendixes. Merck veterinary manual, *Elsevier*, 2015.

34. Novgorodova I.P., Iolchiev B.S., Prytkov Yu.A., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2020, T. 34, No. 5, pp. 69–72. (In Russ.)
35. Mingzhun L., Saurbaeva R.T., Venrong L., Sebezsko O.I., Andreeva V.A., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2019, No. 3(52), pp. 91–97. (In Russ.)
36. Klimanova E.A., Popovskii Z.T., Konovalova T.V., Tarasenko E.I., Korotkevich O.S., Sebezsko O.I., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2021, No. 4(61), pp. 126–136. (In Russ.)
37. Andreeva V.A., Venrong L., Mingzhun L., Saurbaeva R.T., Konovalova T.V., Klimanova E.A., Sebezsko O.I., Nazarenko A.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2019, No. 4(53), pp. 23–31. (In Russ.)
38. *Patent № 2414124 C2. RF*, Sposob polucheniya vysokoproduktivnykh proizvoditelei sel'skokhozyaistvennykh zhyvotnykh, Petukhov V.L., Ernst L.K., Zheltikov A.I., Korotkevich O.S., Kamaldinov E.V., Fridcher A.A., Ledeneva O.Yu., Zhigachev A.I., Petukhova T.V., Adushinov D.S., Klimentok I.I., No. 2009122691/10; zayavl. 15.06.2009; opubl. 20.03.2011, 8 p. (In Russ.)
39. *Patent № 2004113866/13 RF*, Sposob sokhraneniya redkikh i ischezayushchikh porod zhyvotnykh, Petukhov V.L., Ernst L.K., Zheltikov A.I., Gart V.V., Zheltikova O.A., Petukhov I.V., Gart E.V., Marenkov V.G., Kamaldinov E.V., Korotkevich O.S., Chysyma R.B., No. 2270562, 2004, zayavl. 05.05.2004, opubl. 27.02.2006, 8 p. (In Russ.)
40. *Patent № 2765236 SI. RF*, Sposob otsenki sodержaniya medi v pecheni ovets, Saurbaeva R.T., Andreeva A.A., Konovalova T.V., Sebezsko O.I., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Tarasenko E.I., Petukhova E.I., Nazarenko A.V., No. 20211006117; zayavl. 09.03.2021; opubl. 26.01.2022, 8 p. (In Russ.)

Информация об авторах:

Т.В. Коновалова, старший преподаватель
 Е.А. Климанова, научный сотрудник
 А.В. Назаренко, научный сотрудник
 Е.И. Тарасенко, аспирант
 О.И. Себежко, кандидат биологических наук, доцент

Contribution of the authors:

T.V. Konovalova, senior lecturer
 E.A. Klimanova, researcher
 A.V. Nazarenko, researcher
 E.I. Tarasenko, graduate student
 O.I. Sebezsko, PhD in Biological Sciences, associate professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ БИОСУБСТАНЦИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА ЭКСТРАКЦИИ ПАНТОВ МАРАЛОВ

М.Г. Кротова, И.Н. Гришаева, А.И. Королькова, А.А. Неприятель, И.С. Белозерских

Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий (Всероссийский научно-исследовательский институт пантового оленеводства), Барнаул, Россия

E-mail: otchel_wniipo@mail.ru

Для цитирования: Аминокислотный состав биосубстанций в зависимости от способа экстракции пантов маралов / М.Г. Кротова, И.Н. Гришаева, А.И. Королькова, А.А. Неприятель, И.С. Белозерских // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 200–206. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-75-2-200-206.

Ключевые слова: марал, панты, ультразвук, протеолитические ферменты, высокотемпературная обработка, биосубстанция, жидкостная хроматография, аминокислотный состав.

Реферат. Цель данной работы – определить наиболее эффективный способ экстракции пантов маралов на основании полученных данных аминокислотного состава. В ходе исследований были получены биосубстанции по четырем способам: 1-й способ – ультразвуковая экстракция (22 кГц), соотношение сырье:вода 1 : 10 при 45–50 °С; 2-й способ – ультразвуковая экстракция (22 кГц), соотношение сырье:вода 1 : 10 при 45–50 °С с последующим автоклавированием; 3-й способ – ультразвуковая экстракция (37 кГц) с протеолитическими ферментами, соотношение сырье:вода 1 : 10 при 45–50 °С; 4-й способ – ультразвуковая экстракция (37 кГц) с ферментами микробного происхождения, соотношение сырье:вода 1 : 10 при 45–50 °С с последующим автоклавированием. Аминокислотный анализ был проведен с использованием хроматографии на аппарате Shimadzu LC-20 Prominence, оборудованном диодным матричным детектором. Для построения калибровочного графика использовались девятнадцать стандартных образцов аминокислот, произведенных компанией Sigma (Германия). По результатам проведенного исследования установлено, что эффективным является второй и четвертый способ экстракции сырья, применение данных способов экстракции позволяет получить биосубстанции, в которых количественное содержание аминокислот выше в 1,4–2,1 раза по сравнению с экстрактами, полученными другими способами.

AMINO ACID COMPOSITION OF BIOSUBSTANCES DEPENDING ON THE METHOD OF MARAL VELVET ANTLER EXTRACTION

M.G. Krotova, I.N. Grishaeva, A.I. Korolkova, A.A. Nepriyatel, I.S. Belozerskyh

Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnology (All-Russian Research Institute of Antler Reindeer Breeding), Barnaul, Russia

E-mail: otchel_wniipo@mail.ru

Keywords: maral, velvet antlers, ultrasound, proteolytic enzymes, high-temperature processing, biosubstance, liquid chromatography, amino acid composition.

Abstract. The aim of this study is to determine the most effective method for extracting maral velvet antlers based on the obtained data on amino acid composition. The research involved the production of biosubstances using 4 extraction methods: 1st method: Ultrasound extraction (22 kHz) with a raw material-to-water ratio of 1:10 at a temperature of 45–50 °C; 2nd method: Ultrasound extraction (22 kHz) with a raw material-to-water ratio of 1:10 at 45–50 °C, followed by autoclaving; 3rd method: Ultrasound extraction (37 kHz) with proteolytic enzymes, with a raw material-to-water ratio of 1:10 at 45–50 °C; 4th method: Ultrasound extraction (37 kHz) with microbial enzymes, with a raw material-to-water ratio of 1:10 at 45–50 °C, followed by autoclaving. Amino acid analysis was performed using chromatography on a Shimadzu LC-20 Prominence system equipped with a diode array detector. The calibration curve was constructed using nineteen standard amino acid samples manufactured by Sigma (Germany). The study results indicate that the second and fourth extraction methods are the most effective. These methods yield biosubstances with amino acid concentrations 1.4–2.1 times higher than those obtained using other extraction techniques.

Пантовое оленеводство – отрасль животноводства, специализирующаяся на разведении благородных оленей, главным образом маралов, ради получения пантов, мяса и второстепенного сырья. Панты – это молодые, еще не окостеневшие рога оленей, представляющие собой сложную биологическую структуру. Их анатомическое строение характеризуется высокой степенью кровоснабжения, что обуславливает высокую биологическую активность компонентов. На поперечном срезе пантов различают три основных слоя: кожа, промежуточный и внутренний слой. Снаружи панты покрыты тонкой кожей. Промежуточный слой – это основная часть панта, состоящая в основном из хрящевой ткани, которая постепенно окостеневает по мере роста рога. Внутренний слой (мозговой) является центральной частью пантов и содержит рыхлую соединительную ткань с большим количеством кровеносных сосудов и нервов [1–2].

Многочисленные научные исследования, проводимые на протяжении десятилетий, подтверждают уникальные лечебные свойства пантов. Их фармакологическая активность обусловлена невероятно богатым составом биологически активных компонентов. Помимо аминокислот, пептидов, липидов, жирных кислот, витаминов и минералов, панты содержат гликозаминогликаны, такие как хондроитинсульфат и гиалуроновая кислота, играющие важную роль в регенерации хрящевой ткани и поддержании работоспособности суставов [3]. Также обнаружены факторы роста, в частности, инсулиноподобный (IGF-1) и трансформирующий (TGF- β), которые стимулируют рост и регенерацию клеток, а также участвуют в регуляции клеточного роста и дифференцировки. Наличие этих веществ объясняет положительное влияние пантов на лечение различных заболеваний, таких как неврозы, депрессии [4–6]. Кроме того, экстракты из пантов обладают противовоспалительными и анальгетическими свойствами при лечении остеоартрита, ревматоидного артрита и других воспалительных заболеваний суставов [7]. Некоторые исследования также указывают на потенциальную противоопухолевую активность [8–11]. Однако следует отметить, что механизм действия многих компонентов пантов до конца не изучен.

Ранее во Всероссийском НИИ пантового оленеводства разработаны способы переработки сырья пантовых оленей, в том числе с применением биотехнологических приемов (ферментативные системы), а также ультразвуковых установок с

различной частотой колебаний и интенсивностью ультразвуковых колебаний. Оценку эффективности способов переработки проводили в основном по выходу сухих веществ и массовой доле таких компонентов, как жир, белок, зола. Данные показатели в достаточной степени не могут охарактеризовать биосубстанции из пантовой продукции, имеющей в своем составе более тысячи различных компонентов. На основании вышеизложенного требуется проведение более детальной оценки эффективности извлечения биологически активных компонентов из пантов маралов. Кроме того, в соответствии с существующими на сегодняшний день нормативами к функциональным продуктам и биологически активным добавкам, входящие в их состав функциональные ингредиенты должны содержаться в строго регламентированном количестве. В связи с вышесказанным изучение состава разрабатываемых биосубстанций из сырья маралов является актуальным и может предопределить отличительные признаки и эффективность функциональных пищевых ингредиентов.

Цель исследований – изучить аминокислотный состав биосубстанций из пантов марала в зависимости от способа экстракции.

В задачи исследования входило: 1) определить качественный состав аминокислот субстанций и пантов в зависимости от способа экстракции; 2) установить количественное содержание аминокислот в субстанциях из пантов в зависимости от способа экстракции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в отделе «Всероссийский научно-исследовательский институт пантового оленеводства» ФГБНУ ФАНЦА (г. Барнаул) на базе лаборатории «Переработки и сертификации пантовой продукции» в 2024 г.

В качестве материала исследования использовались панты марала, отбор которых проведен в период с июня по июль 2023 г. Образцы сырых пантов после срезки замораживали и хранили при температуре -20°C до непосредственного исследования. Для получения биосубстанций панты предварительно дефростировали при температуре 4°C . Экстракцию сырья проводили четырьмя способами, обеспечивающими максимальный процент выхода сухого вещества.

1-й способ – ультразвуковая экстракция при интенсивности колебаний 22 кГц в течение 2 ч.

2-й способ – ультразвуковая экстракция при интенсивности колебаний 22 кГц в течение 2 ч с последующей высокотемпературной обработкой в течение 6 ч.

3-й способ – экстракция в ультразвуковом поле интенсивностью 37 кГц в течение 6 ч с добавлением ферментов микробного происхождения.

4-й способ – экстракция в ультразвуковом поле при интенсивности 37 кГц в течение 6 ч с добавлением ферментов микробного происхождения с последующей высокотемпературной обработкой в течение 6 ч.

Экстрагирование всех образцов проводили при гидромодуле 1 : 10, температуре 45–50 °С. Высокотемпературную обработку проводили с применением автоклава при температуре 120 °С, давлении 1,5 атмосфер.

Методика определения аминокислот основана на хроматографическом анализе с применением специализированного оборудования фирмы Shimadzu (Japan) со спектрофотометрическим детектированием на длине волны 254 нм. В качестве неподвижной фазы использовали колонку на основе силикогеля и диоксида кремния (C18) с диаметром частиц 5 микрон размером 250×4,6 мм фирмы MZ-Analysentechnik GmbH (USA). Хроматографический анализ проводили в градиентном режиме при расходе элюента 1,0–1,2 мл/мин и температуре термостата колонки 40 °С. В качестве подвижной фазы использовали смесь 6 мМ раствора ацетата натрия с рН 5,5 (компонент А), раствор 2-пропанола концентрацией 1 % в ацето-

нитриле (компонент В) и 6 мМ раствор ацетата натрия с рН 4,05 (компонент С).

Градуировку проводили по стандартным образцам аминокислот фирмы Sigma: аспарагин, глутамин, оксипролин, серин, глицин, гистидин, аргинин, треонин, аланин, пролин, тирозин, валин, лизин, изолейцин, лейцин, фенилаланин, метионин, цистин и цистеин [15, 16].

Определение массовой концентрации аминокислот проводили в соответствии с методикой М-02-902-142-07, метрологически аттестованной и внесенной в реестр методик, допущенных к применению в сфере государственного метрологического контроля и надзора.

Статистический анализ полученных результатов исследований проведен в соответствии с методом вариационной статистики. Критерий достоверности определен по Стьюденту–Фишеру с применением программного обеспечения MS Excel (2010) на персональном компьютере.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Панты маралов в основном представлены белково-пептидными компонентами, в связи с этим изучение аминокислотного состава биосубстанций представляет большой практический интерес, так как напрямую показывает эффективность применения разных способов экстракции сырья [17].

По результатам проведенного исследования определен качественный состав аминокислот в пантовых экстрактах. Данные представлены на рис. 1–4.

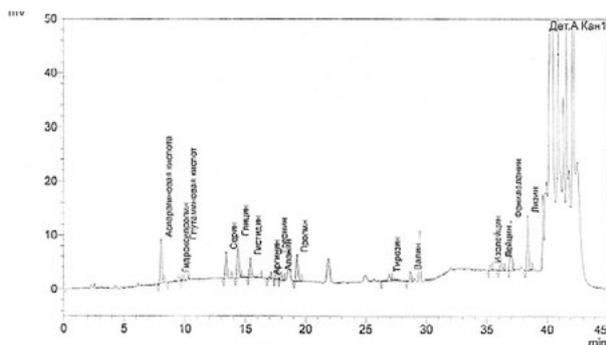


Рис. 1. Хроматограмма аминокислот пантового экстракта, полученного по первому способу
Chromatogram of amino acids of antler extract obtained by the first method

В экстрактах из пантов марала определено 16 аминокислот. Из числа заменимых аминокислот в составе полученных экстрактов присутство-

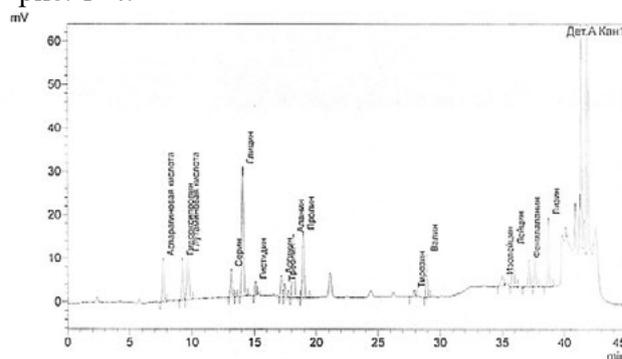


Рис. 2. Хроматограмма аминокислот пантового экстракта, полученного по второму способу
Chromatogram of amino acids of antler extract obtained by the second method

вали глицин, кислота аспарагиновая, кислота глутаминовая, аланин, пролин, гидроксипролин, серин и тирозин.

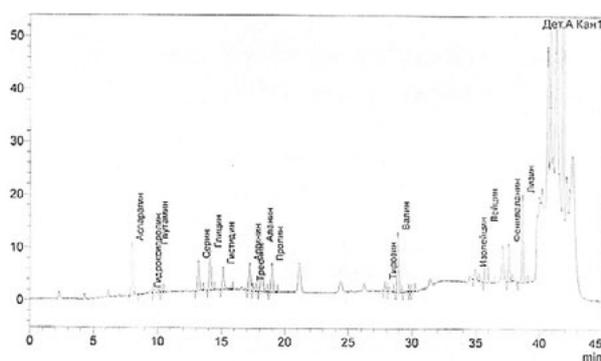


Рис. 3. Хроматограмма аминокислот пантового экстракта, полученного по третьему способу
Chromatogram of amino acids of antler extract obtained by the third method

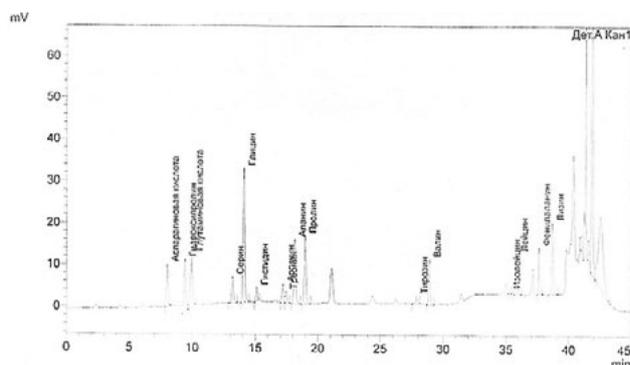


Рис. 4. Хроматограмма аминокислот пантового экстракта, полученного по четвертому способу
Chromatogram of amino acids of antler extract obtained by the fourth method

Среди незаменимых аминокислот определены: треонин и валин, фенилаланин и лизин, лецин и изолейцин, аргинин и гистидин. Отличий в качественном составе аминокислот пантовых

экстрактов в зависимости от способа экстракции не выявлено.

Данные количественного состава аминокислот пантовых экстрактов представлены в таблице.

Аминокислотный состав биосубстанций из пантов марала, мг/100 г
Amino acid composition of maral antler biosubstances, mg/100 g

Показатель	Способы экстракции пантов			
	1-й способ (ультразвук 22 кГц, n = 5)	2-й способ (ультразвук 22 кГц + автоклав, n = 5)	3-й способ (ультразвук 37кГц + Ферменты, n = 5)	4-й способ (ультразвук 37 кГц + ферменты+Автоклав, n = 5)
Аспарагиновая кислотата	132,25±2,3	164,0±6,1	148,7±8,2	157,2±10,9
Аланин	8,58±0,8	94,6±5,1	55,6±4,2	95,7±6,8
Глутаминовая кислота	97,42±1,1	147,6±7,2	110,3±9,3	155,7±12,7
Гидроксипролин	6,05±0,1	63,7±3,2	6,2±0,9	66,2±10,3
Пролин	34,3±3,2	97,4±4,5	34,2±3,6	103,3±14,3
Глицин	42,9±5,2	172,7±9,6	38,9±4,8	171,9±11,0
Серин	34,8±4,3	62,2±5,5	36,6±6,5	42,9±7,2
Тирозин	18,2±1,6	14,9±2,3	17,6±4,2	17,6±6,5
Сумма заменимых аминокислот	374,5	817,1	448,1	810,5
Фенилаланин	75,4±6,7	0,96±0,4	1,4±0,5	0,95±0,2
Лизин	23,22±6,9	66,6±7,3	86,0±8,4	70,0±9,6
Треонин	43,4±7,2	33,7±4,2	11,4±2,1	27,6±5,6
Валин	4,5±0,9	52,6±8,8	58,9±6,6	56,2±5,8
Лейцин	19,18±2,2	73,8±8,9	87,5±14,2	76,2±10,2
Изолейцин	1,51±0,3	6,2±1,2	2,9±0,6	5,7±1,5
Аргинин ▼	1,51±0,4	42,5±10,6	40,8±6,5	37,6±4,2
Гистидин ▼	2,01±0,4	40,0±9,4	48,0±7,1	36,6±6,5
Сумма незаменимых аминокислот	170,7	316,4	336,9	310,8
Общая сумма аминокислот	545,2±36,75	1133,5±75,20**	785,0±48,65	1121,3±80,60*

▼ - условно незаменимые аминокислоты (частично синтезируются в организме человека).

*p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001 – разница достоверна в сравнении с 1-м способом.

•p < 0,05; ••p < 0,01; •••p < 0,001 – разница достоверна в сравнении с 3-м способом.

По результатам исследования установлены различия в количественном содержании аминокислот в зависимости от способа экстракции. Как видно из данных таблицы, по общей сумме аминокислот можно выделить образцы, полученные при экстракции пантов с применением ультразвука высокой мощности с последующим автоклавированием (способ 2-й) и с применением поэтапной экстракции в поле ультразвука в присутствии ферментов с последующим автоклавированием (способ 4-й).

Сумма аминокислот во 2-м и 4-м способах выше в 2,1 раза по сравнению с первым способом экстракции и в 1,4 раза выше, чем при 3-м способе экстракции.

При этом наиболее значительные отличия выявлены в экстрагировании таких заменимых аминокислот, как гидроксипролин, пролин и глицин. При 2-м и 4-м способе экстракции количество гидроксипролина было выше в 10,0–11,0 раз, пролина в 2,8–3,0 раза, а глицина в 4,0–4,4 раза по сравнению с 1-м и 3-м способами экстракции. Согласно данным таблицы определили, что из числа заменимых аминокислот в анализируемых экстрактах от 37,0 до 54,0 % от общего количества аминокислот в преобладающем количестве отмечены аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота и глицин. Из незаменимых аминокислот в наибольшем количестве установлены лейцин и лизин, составляющие от 12,0 до 22,0 % от общего числа аминокислот.

Разница по концентрации общей суммы аминокислот между образцами, полученными по 2-му и 4-му способам, недостоверна.

Таким образом, для лучшего извлечения аминокислот при экстракции пантов марала наиболее подходят способы, включающие поэтапное экстрагирование с применением экстракции в поле ультразвука, а также в присутствии ферментов с последующим автоклавированием (2-й и 4-й способы).

ВЫВОДЫ

1. В пантовых экстрактах идентифицировано 16 аминокислот, качественный состав которых идентичен вне зависимости от применяемого способа экстракции.

2. По результатам проведенных исследований по поиску эффективного способа экстракции пантов марала установлено, что способы, включающие ультразвуковую экстракцию при соотношении сырье : вода 1 : 10, интенсивность ультразвуковых колебаний 22 кГц с последующей высокотемпературной обработкой (2-й способ) и применение поэтапной экстракции в поле ультразвука в присутствии ферментов с последующим автоклавированием (4-й способ), позволяют получить биосубстанции, в которых количественное содержание аминокислот выше в 1,4–2,1 раза по сравнению с экстрактами, полученными другими способами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Immunomodulatory effects of a 3.2kDa polypeptide from velvet antler of Cervus nippon Tem minck* / Zha Enhui, Li Xingxia, Li Dandan [et al.] // *Int. Immunopharmacol.* – 2013. – № 16. – P. 210–213. – DOI: 10.1016/j.intimp.2013.02.027.
2. Луницын В.Г., Неприятель А.А. Панты оленей (консервирование, оценка качества и биологические свойства). – Барнаул, 2016. – 35 с.
3. *Deer antler extract: Pharmacology, rehabilitation and sports medicine applications* / A. Orassay, D. Sadvokassova, A. Berdigaliyev [et al.] // *Pharmacological Research – Modern Chinese Medicine.* – Vol. 10, March 2024. – DOI: 10.1016/j.prmcm.2023.100316.
4. *Функциональные пищевые системы: природный биокомплекс для коррекции обменных нарушений при возраст-ассоциированных заболеваниях* / В.П. Сергун, В.Н. Буркова, Д.Д. Агеенко, В.М. Позняковский // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания.* – 2024. – № 4. – С. 134–144. – DOI: 10.24412/2311-6447-2024-4-134-144.
5. *Экспериментальное обоснование применения пантов марала на фоне экстремальных психоэмоциональных нагрузок* / И.Н. Смирнова, Н.И. Суслов, И.А. Хлусов [и др.] // *Биомедицина.* – 2019. – № 3. – С. 33–40. – DOI: 10.33647/2074-5982-15-3-33-40.
6. *The significance of MDK growth factor in the antler development of sika deer (Cervus nippon): An in-depth analysis* / Haihua Xing, Qianghui Wang, Yukai Ma [et al.] // *Gene Expression Patterns Available.* Online 27 Dec. 2024. – P. 119388. – DOI: 10.1016/j.jfineco.2023.103745.
7. *Использование пантов марала в комбинации с амикацином для купирования хронического остеомиелита* / В.О. Золотухин, А.А. Андреев, А.А. Гпухов, В.В. Шишкина // *Гены и клетки.* – 2022. – № 3. – С. 92–93. – EDN: RMGQXW

8. Яковлева К.М., Слепцова А.А., Михайлова С.М. Лекарственные средства животного происхождения в традиционной медицине якутов (XIX–XXI вв. // Ойкумена. Регионоведческие исследования. – 2024. – № 2(69). – С. 84–91. – DOI: 10.24866/1998-6785/2024-2/84-91.
9. *Anti-tumour activity of deer growing antlers and its potential applications in the treatment of malignant gliomas* / L. Chonco, T. Landete-Castillejos, G. Serrano-Heras [et al.] // *Sci. Rep.* – 2021. – Vol. 11. – P. 42. – DOI: 10.1038/s41598-020-79779-w.
10. Сергун В.П., Агеенко Д.Д., Поздняковский В.М. Пищевые системы оздоровительного питания: биологически активный комплекс для нормализации функциональных расстройств вегетативной нервной системы // *Пищевая промышленность.* – 2024. – № 2. – С. 10–15. – DOI: 10.24412/2311-6447-2024-3-42-51.
11. Доклинические исследования холодового воздействия для оценки эффективности и функциональной направленности специализированного продукта / Н.А. Фролова, И.Ю. Резниченко, Н.В. Шкрабтак [и др.] // *Вопросы питания.* – 2021. – Т. 90, № 4. – С. 138–143. – DOI: 10.33029/0042-8833-2021-90-4-138-143.
12. Способ переработки пантов оленей: пат. RU 2651026 С2Рос. Федерация / Неприятель А.А.; владелец патента: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт пантового оленеводства» (ФГБНУ ВНИИПО); заявл. 20.05.2016, опубл. 18.04.2018, Бюл. № 11. – 7 с.
13. Способ получения гидролизата из пантов: пат. RU2728218 С1Рос. Федерация / Луницын В.Г., Гришаева И.Н., Кротова М.Г. [и др.]; заявл. 25.06.2019, опубл. 28.07.2020, Бюл. № 22. – 6 с.
14. *ГОСТ Р 54059–2010.* Продукты пищевые функциональные. Ингредиенты пищевые функциональные. Классификация и общие требования. – М.: Стандартинформ, 2011. – 11 с.
15. Руденко А.О., Карцова Л.А. Снарский С.И. Определение важнейших аминокислот в сложных объектах биологического происхождения методом обращенно-фазовой ВЭЖХ с получением фенилтиогидантоинов аминокислот // *Сорбционные и хроматографические процессы.* – 2010. – Т. 10, Вып. 2. – С. 223–230. – EDN: MUEQTX.
16. *Introduction to HPLC, Shimadzu, Japane, 2008.*
17. Луницын В.Г. Производство, переработка и биохимический состав продукции пантового оленеводства. – Барнаул, 2008. – 294 с.

REFERENCES

1. Enhui Zha, Xingxia Li, Dandan Li, Xuesong Guo, Shenyang Gao, Xiqing Yue., Immunomodulatory effects of a 3.2kDa polypeptide from velvet antler of *Cervus nippon* Tem minsk, *Int. Immunopharmacol*, 2013, No. 16, pp. 210–213, DOI: 10.1016/j.intimp.2013.02.027.
2. Lunicyn V.G., Nepriyatel A.A., *Panty oleney (konservirovanie, ocenka kachestva i biologicheskie svoystva (Deer antlers (canning, quality assessment and biological properties))*, Barnaul, 2016, 35 p.
3. Orassay A., Sadvokassova D., Berdigaliyev A., Sagintayev A., Myrzagali S., Omarova Z., Toktarov N., Liu D., Xie Y., Deer antler extract: Pharmacology, rehabilitation and sports medicine applications, *Pharmacological Research – Modern Chinese Medicine*, Vol. 10, March 2024, DOI: 10.1016/j.prmcm.2023.100316.
4. Sergun V.P., Burkova V.N., Ageenko D.D., Poznyakovskij V.M., *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya*, 2024, No. 4, pp. 134–144, DOI: 10.24412/2311-6447-2024-4-134-144. (In Russ.).
5. Smirnova I.N., Suslov N.I., Xlusov I.A., Zajcev K.V., Gostyuxina A.A., Vereshhagina S.V., Abdulkina N.G., *Biomedicina*, 2019, No. 3, pp. 33–40, DOI: 10.33647/2074-5982-15-3-33-40. (In Russ.).
6. Haihua Xing, Qianghui Wang, Yukai Ma, Ruobing Han, Heping Li, He significance of MDK growth factor in the antler development of sika deer (*Cervus nippon*): An in-depth analysis, *Gene Expression Patterns Available*. Online 27 December 2024, pp. 119388, DOI: 10.1016/j.gep.2024.119388.
7. Zolotuxin V.O., Andreev A.A., Gpuxov A.A., Shishkina V.V., *Geny` i kletki*, 2022, No. 3, pp. 92–93. (In Russ.).
8. Yakovleva K.M., Slepzcova A.A., Mixajlova S.M., *Regionovedcheskie issledovaniya*, No. 2(69), 2024, pp. 84–91, DOI: 10.24866/1998-6785/2024-2/84-91. (In Russ.).
9. Chonco L., Landete-Castillejos T., Serrano-Heras G., et al., Anti-tumour activity of deer growing antlers and its potential applications in the treatment of malignant gliomas, *Sci. Rep*, 2021, Vol. 11, pp. 42, DOI: 10.1038/s41598-020-79779-w.
10. Sergun V.P., Ageenko D.D., Pozdnyakovskij V.M., *Pishhevaya promy`shlennost*, 2024, No. 2, pp. 10–15, DOI: 10.24412/2311-6447-2024-3-42-51. (In Russ.).
11. Frolova N.A., Reznichenko I.Yu., Shkrabtak N.V., Pomozova V.A., Babij T.V., *Voprosy` pitaniya*, 2021, T. 90, No. 4, pp. 138–143, DOI: 10.33029/0042-8833-2021-90-4-138-143. (In Russ.).
12. Sposob pererabotki pantov oleney: pat. RU 2651026 C2Ros. Federatsiya / Nepriyatel` A.A.; vladelets patenta: Federal`noe gosudarstvennoe byudzhethoe nauchnoe uchrezhdenie «Vserossiyskiy nauchno-issledovatel`skiy institut pantovogo olenevodstva» (FGBNU VNIPO); zayavl. 20.05.2016, opubl. 18.04.2018, Byul. № 11, 7 p. (in Russ.).

13. *Pat. Ru2728218*, «Sposob polucheniya gidrolizata iz pantov», A23J 1/10, A23J 3/04, opubl. 28.07.2020 g., В. № 22, 6 p. (in Russ.).
14. *GOST R 54059-2010*. Produkty` pishhevy`e funkcional`ny`e. Ingredienty` pishhevy`e funkcional`ny`e. Klassifikaciya i obshhie trebovaniya, Moscow, 2011, 11 p. (In Russ.).
15. Rudenko A.O., Karczova L.A. Snarskij S.I., *Sorbcionny`e i xromatograficheskie processy*, 2010, T. 10, pp. 223–230, EDN: MUEQTX. (In Russ.).
16. Introduction to HPLC, Shimadzu, Japan, 2008.
17. Lunicyn V.G., *Proizvodstvo, pererabotka i bioximicheskij sostav produkcii pantovogo olenevodstva* (Production, processing and biochemical composition of reindeer herding products), Barnaul, 2008, 294 p. (In Russ.).

Информация об авторах:

М.Г. Кротова, кандидат сельскохозяйственных наук
И.Н. Гришаева, кандидат биологических наук
А.И. Королькова, кандидат сельскохозяйственных наук
А.А. Неприятель, доктор сельскохозяйственных наук
И.С. Белозерских, научный сотрудник

Contribution of the authors:

M.G. Krotova, Candidate of Agricultural Sciences
I.N. Grishaeva, Candidate of Biological Sciences
A.I. Korolkova, Candidate of Agricultural Sciences
A.A. Nepriyatel, Doctor of Agricultural Sciences
I.S. Belozerskikh, Research Fellow

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ГИСТОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ГИПОФИЗА У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ОТРЯДА ХИЩНЫХ

Д.Е. Кудрявцева, О.В. Распутина

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: kudryavceva.darya.99@mail.ru

Для цитирования: Кудрявцева Д.Е., Распутина О.В. Гистологическое строение гипофиза у представителей отряда хищных // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 207–213. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-207-213.

Ключевые слова: нейроэндокринная система, железы внутренней секреции, гипофиз, гистология, аденогипофиз, нейрогипофиз, плотоядные, кошка, норка, лисица.

Реферат. Гистологическая структура гипофиза была изучена у 26 голов хищных млекопитающих (10 американских норок, 10 домашних кошек и 6 серебристо-черных лисиц). Работа проведена на кафедре анатомии и физиологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ и на базе экспериментальной зверофермы Института цитологии и генетики СО РАН с 2023 по 2024 гг. Гипофизы были изучены топографически после удаления костей черепа, а также исследованы микроскопически после фиксации материала в 10%-м растворе нейтрального забуференного формалина. Приготовленные срезы окрашивали с помощью гематоксилина и эозина, а затем изучали с помощью световой микроскопии и последующим фотографированием основных структур. В результате исследования установлена топография гипофиза на базальной поверхности головного мозга. Изучение гистологических срезов показало, что у исследуемых видов животных гипофиз хорошо развит, делится на переднюю (аденогипофиз) и заднюю (нейрогипофиз) доли, отделенные друг от друга гипофизарной щелью. Гипофиз у всех животных был окружен твердой мозговой оболочкой. В аденогипофизе наблюдались все части – дистальная, туберальная и промежуточная. Дистальная часть аденогипофиза состояла из трех основных типов клеток: ацидофилов, базофилов и хромофобных клеток. Ацидофилы были меньше базофилов, а хромофобы были самыми крупными клетками. Туберальная часть состояла преимущественно из хромофобных клеток и синусоидных капилляров. Промежуточная часть содержала скопления хромофобных и базофильных клеток. Нейрогипофиз содержал немиелинизированные нервные волокна, среди которых были разбросаны многочисленные питуициты. Полученные данные совпали с гистологическим строением гипофиза других хищных млекопитающих.

HISTOLOGICAL STRUCTURE OF THE PITUITARY GLAND OF CARNIVORES

D.E. Kudryavtseva, O.V. Rasputina

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: kudryavceva.darya.99@mail.ru

Keywords: neuroendocrine system, glands of internal secretion, hypophysis, histology, adenohypophysis, neurohypophysis, carnivores, cat, mink, fox.

Abstract. The histological structure of the pituitary gland was studied in 26 carnivorous mammals (10 American mink, 10 domestic cats and 6 silver-black foxes). The studies were carried out at the Department of Anatomy and Physiology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Novosibirsk State Agrarian University and based on the experimental fur farm of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences during 2023-2024. The pituitary glands were examined topographically after removal of the skull bones, and examined microscopically after fixation of the material in 10% neutral buffered formalin solution. The prepared sections were stained with hematoxylin and eosin and then examined by light microscopy followed by photographing the major structures. The study established the topography of the pituitary gland on the ventral surface of the brain. The study of histologic sections showed that in the studied animal species the pituitary gland is well developed, divided into anterior (adenohypophysis) and posterior (neurohypophysis) lobes, separated from each other by the pituitary cleft. The pituitary gland in all animals was surrounded by dura mater. All parts of the adenohypophysis - distal, tuberal and intermediate - were observed in the adenohypophysis. The distal part of the adenohypophysis consisted of three main cell

types: acidophils, basophils and chromophobic cells. Acidophils were smaller than basophils and chromophobes were the largest cells. The tuberal part consisted predominantly of chromophobe cells and sinusoidal capillaries. The intermediate part contained clusters of chromophobic and basophilic cells. The neurohypophysis contained unmyelinated nerve fibers among which numerous pituicytes were scattered. The data obtained coincided with the histologic structure of the pituitary gland of other carnivorous mammals.

Гипофиз (питуитарная железа, *hypophysis*) относится к центральным эндокринным железам и по функциональному значению занимает главное место в системе нейрогуморальной регуляции, являясь частью гипоталамо-гипофизарной системы [1].

Гипофиз является частью промежуточного мозга и располагается между зрительным перекрестом и сосцевидными телами [2].

Гипофиз состоит из железистой эпителиальной и нервной (секреторной) ткани [3], которые эмбриологически и функционально делят его на две доли. Передняя доля (аденогипофиз, *adenohypophysis*) развивается из отростка эктодермы ротоглотки в сторону мозга (мешочек Ратке) и состоит из дистальной (*pars distalis*), промежуточной (*pars intermedia*) и туберальной (*pars tuberalis*) частей, а задняя доля (нейрогипофиз, *neurohypophysis*) происходит из выроста нейроэктодермы дна третьего желудочка (промежуточного мозга) развивающегося мозга и состоит из воронки (*infundibulum*) и нервной части (*pars nervosa*) [4–6].

Паренхима *pars distalis* состоит из хромофильных, ацидофильных и базофильных клеток, расположенных в тяжах, гнездах или фолликулах, и маленьких круглых эндокринных клеток без гранул – хромофобных клеток. *Pars tuberalis* состоит из скоплений кубовидных слабо базофильных клеток [7]. *Pars intermedia* имеет отличие в строении у человека и животных. По медицинским данным группы хромофобных и базофильных клеток промежуточной части аденогипофиза окружают фолликулы разного размера, заполненные коллоидом [3, 8]. При микроскопическом исследовании промежуточной части у животных подобных структур не обнаружено. Клеточный состав представлен хромофобами и базофилами в виде шнуров и скоплений [6, 7, 10, 13, 15]. Нейрогипофиз лишен эндокринных клеток и состоит из демиелинизированных окончаний аксонов нейросекреторных клеток, тела которых находятся в

супраоптическом и паравентрикулярном ядрах гипоталамуса [7].

Известно, что структурно-функциональные характеристики органов животных зависят от видовой и породной принадлежности, возраста и пола.

Так, например, форма гипофиза у молодых овец удлинненно-овальная, а у взрослых особей – более выпуклая в дорсовентральной части [9]. Гипофиз у костистой рыбы *Valamugil cunnesius* имеет компактную конусообразную форму [10], у обыкновенного карпа – округло-овальную, похожую на желудь или грушу [11], в то время как у бурого и краснополосого группера – правильную круглую форму [12]. У крыс форма гипофиза напоминает диск [13], у кошек гипофиз шарообразный [2], а у собак – несколько сплюснен, овальный [2, 6]. У ослов [6, 14] и верблюдов [15] железа имеет овальную форму, при этом у буйвола – эллипсоидная форма, а у лошади – приплюснута-округлая [13]. У индеек отсутствует промежуточная часть аденогипофиза, которая заменена соединительной тканью [16], а у китообразных отсутствует как промежуточная часть аденогипофиза, так и гипофизарная щель: гипофиз состоит из дистальной и туберальной частей аденогипофиза и нейрогипофиза, разделенных тонкой волокнистой оболочкой [17, 18]. В связи с этим изучение анатомо-гистологических особенностей гипофиза в сравнительном межвидовом аспекте является одним из актуальных вопросов ветеринарной морфологии.

Публикации результатов научных исследований, посвященных морфологии гипофиза у плотоядных млекопитающих малочисленны. При этом отсутствуют данные о строении гипофиза у domesticированных норок и лисиц. В частности, в доступной литературе не освещены данные о гистологическом строении гипофиза исследуемых животных, отсутствуют цветные иллюстрации.

Все перечисленные аспекты указывают на актуальность проблемы и определяют цель

исследования – изучить и представить гистологическое строение гипофиза у домашней кошки, американской норки и серебристо-черной лисицы.

Задачи исследования:

1. Определить топографию и форму гипофиза у домашней кошки, американской норки и серебристо-черной лисицы.

2. Изучить гистологическое строение гипофиза у домашней кошки, американской норки и серебристо-черной лисицы.

3. По результатам полученного материала провести сравнительный гистологический анализ гипофиза у изучаемых видов животных.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования были проведены на кафедре анатомии и физиологии ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ и на базе экспериментальной зверофермы Института цитологии и генетики СО РАН.

Объектом исследований являлись беспородные домашние кошки ($n = 10$), американские

норки ($n = 10$) генотипа Standard dark brown (+/+) клеточного содержания и серебристо-черные лисицы ($n = 6$) клеточного содержания. Предметом исследований служил гипофиз.

Фиксацию материала проводили в 10%-м растворе нейтрального забуференного формалина. Образцы тканей гипофиза обрабатывали общепринятым классическим методом, срезы окрашивали гематоксилином и эозином.

Гистологические срезы изучали с помощью цифрового сканера PANNORAMIC Desk II DW при увеличении $\times 60$, $\times 200$, $\times 400$, $\times 600$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Расположение гипофиза у норок, кошек и лисиц соответствует топографии, свойственной всем млекопитающим, он располагается на вентральной поверхности промежуточного мозга, соединяясь с ним с помощью воронки, лежит в гипофизарной ямке турецкого седла, имеет овальную форму (рис. 1).

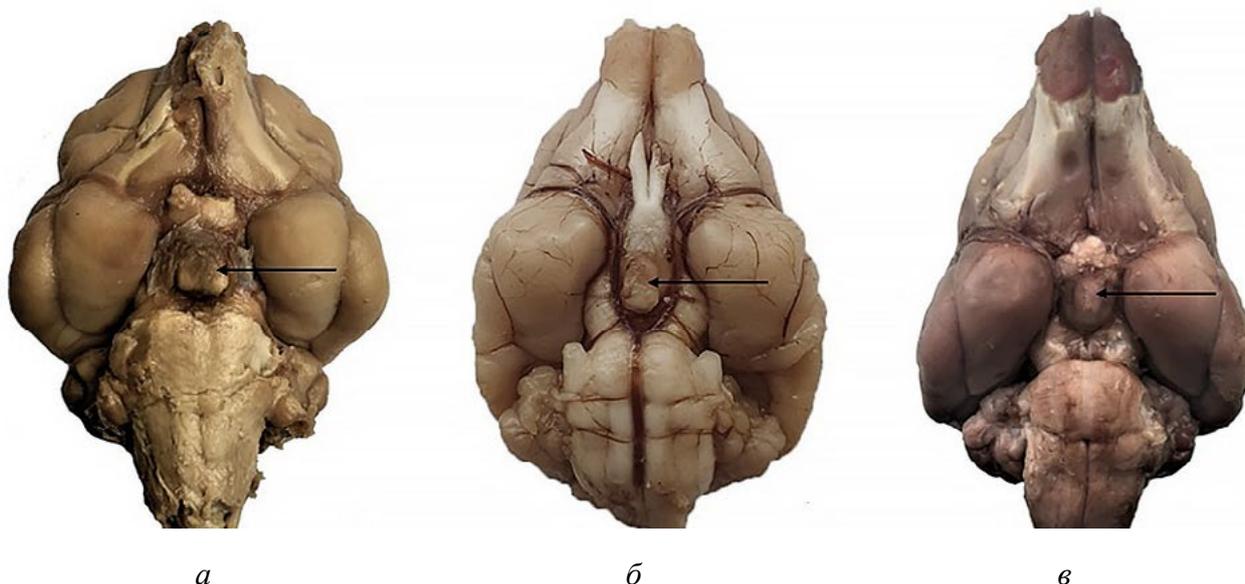


Рис. 1. Топография гипофиза с базальной поверхности мозга кошки (а), норки (б) и лисицы (в)
Topography of the pituitary gland from the basal surface of the brain of a cat (a), mink (b) and fox (c)

Настоящее исследование показало, что у исследуемых животных хорошо развит гипофиз, просматриваются обе доли (адено- и нейрогипофиз), а также дифференцируются все

их части. Снаружи гипофиз окружен плотной соединительнотканной капсулой и сверху его отделяет от других частей мозга диафрагма турецкого седла (рис. 2).

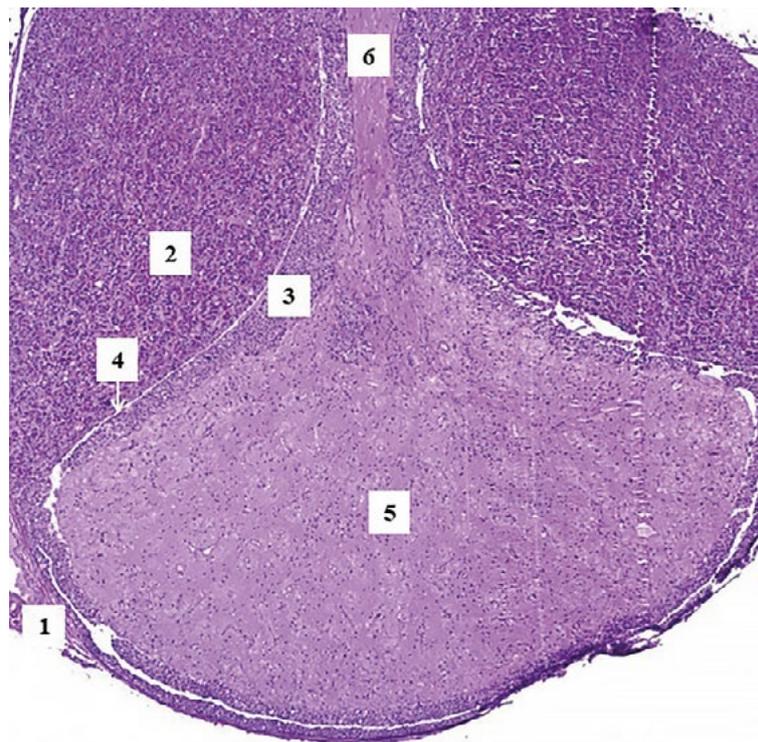


Рис. 2. Гипофиз норки, поперечный срез: 1 – капсула; 2 – дистальная часть аденогипофиза; 3 – промежуточная часть аденогипофиза; 4 – гипофизарная щель; 5 – нервная часть нейрогипофиза; 6 – ножка гипофиза. Гематоксилин и эозин. Увеличение $\times 60$

Mink pituitary gland, cross section: 1 – capsule; 2 – distal part of adenohypophysis; 3 – intermediate part of adenohypophysis; 4 – pituitary fissure; 5 – neural part of neurohypophysis; 6 – pituitary stalk. Hematoxylin and eosin. Magnification $\times 60$

По сравнению с птицами и китообразными у исследуемых плотоядных животных присутствует промежуточная часть аденогипофиза и гипофизарная щель (рис. 3).

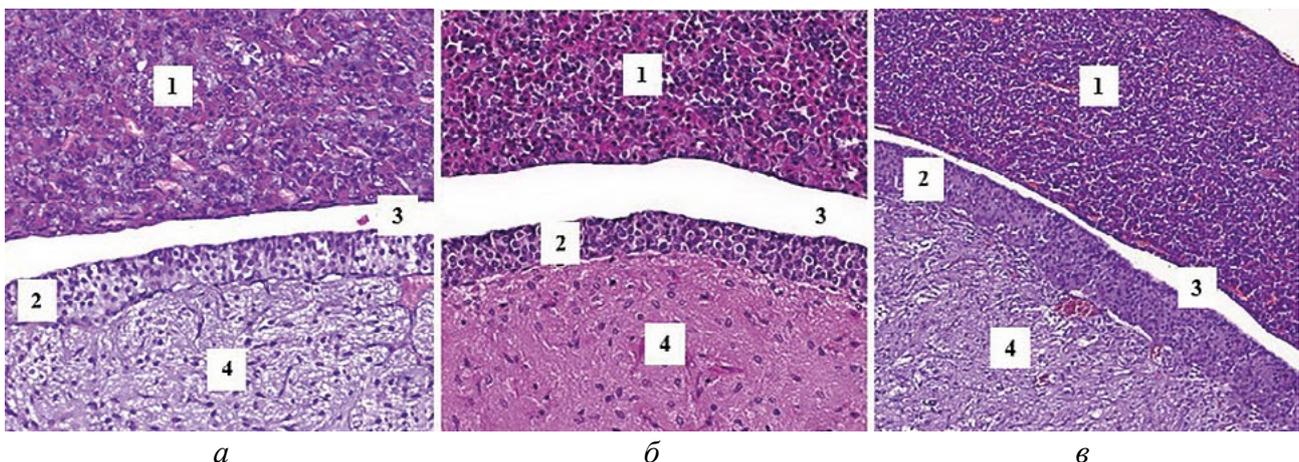


Рис. 3. Гипофиз кошки (а), норки (б) и лисицы (в): 1 – дистальная часть аденогипофиза; 2 – промежуточная часть аденогипофиза; 3 – гипофизарная щель; 4 – нервная часть нейрогипофиза. Гематоксилин и эозин. а, б – увеличение $\times 400$, в – увеличение $\times 200$

Pituitary gland of cat (a), mink (b) and fox (v): 1 – distal part of adenohypophysis; 2 – intermediate part of adenohypophysis; 3 – pituitary fissure; 4 – neural part of neurohypophysis. Hematoxylin and eosin. a, b – magnification $\times 400$, v – magnification $\times 200$

Паренхима дистальной части аденогипофиза состоит из скопления эндокринных клеток, расположенных в непосредственной близости от синусоидных капилляров. Эндокринные клетки представлены хромофобными и хромофильными клетками. Хромофобные клетки имеют отно-

сительно мало светлоокрашенной однородной цитоплазмы и сравнительно большое ядро. Хромофильные клетки в соответствии со сродством секреторных гранул к кислотным и основным

красителям представлены ацидофильными и базофильными клетками. Базофильные клетки крупнее ацидофильных. Туберальная часть состоит из скоплений хромофобных клеток (рис. 4).

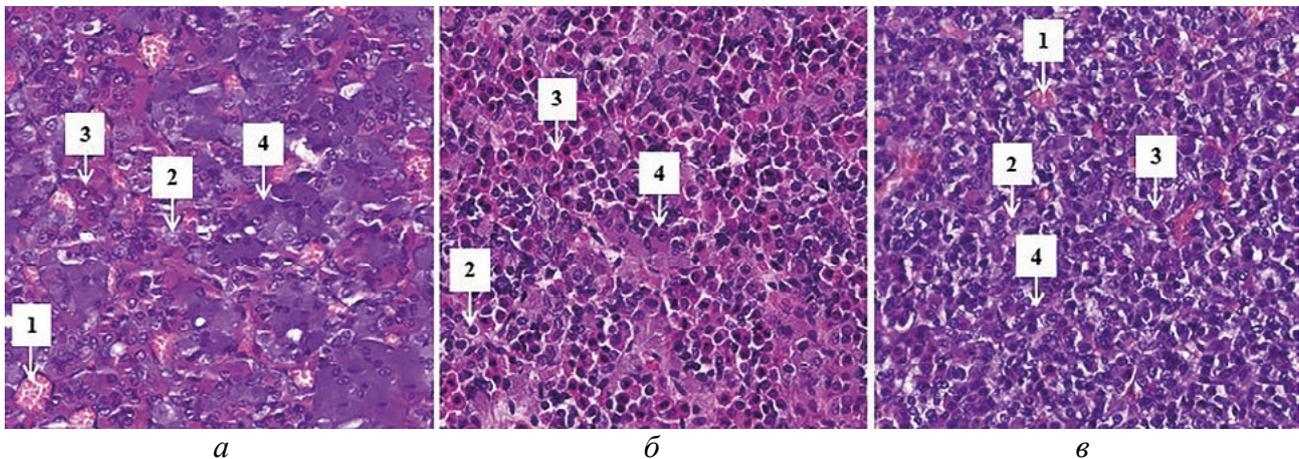


Рис. 4. Дистальная часть аденогипофиза кошки (а) норки (б) и лисицы (в): 1 – синусоидный капилляр; 2 – хромофобная клетка; 3 – ацидофильная клетка; 4 – базофильная клетка. Гематоксилин и эозин. Увеличение $\times 600$
Distal part of the adenohypophysis of a cat (a), mink (б) and fox (в): 1 – sinusoidal capillary; 2 – chromophobe cell; 3 – acidophilic cell; 4 – basophilic cell. Hematoxylin and eosin. Magnification $\times 600$

Промежуточная часть аденогипофиза имеет вид узкой полосы и состоит из хромофобных и базофильных клеток, расположенных в неправильных скоплениях или тяжах.

Нервная часть нейрогипофиза содержит скопление ядер питуицитов с многочисленными отростками, образующими строуму и синусоидные капилляры (рис. 5).

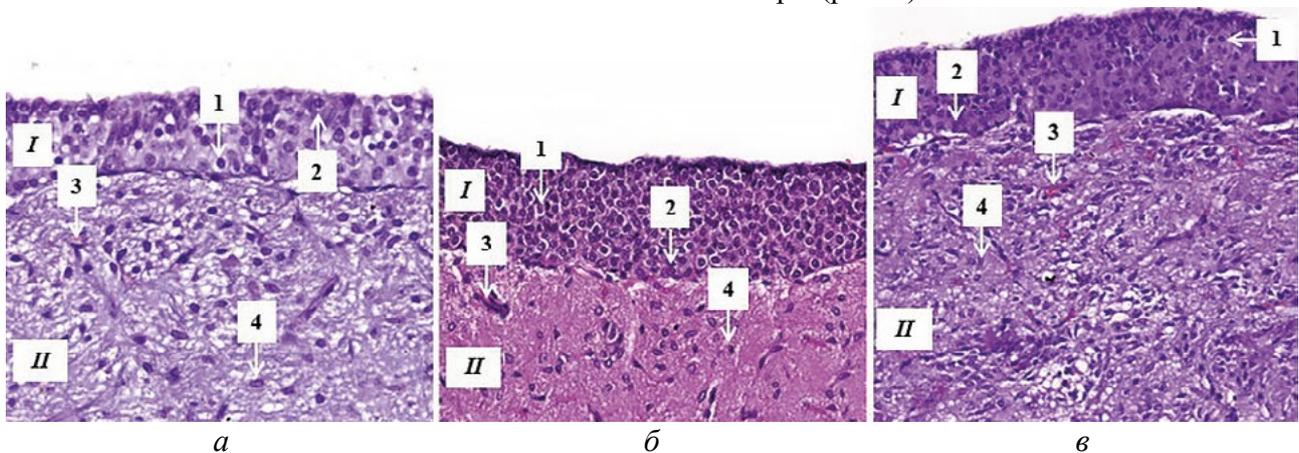


Рис. 5. Промежуточная часть аденогипофиза (I) и нервная часть нейрогипофиза (II) кошки (а), норки (б) и лисицы (в): 1 – хромофобная клетка; 2 – базофильная клетка; 3 – синусоидный капилляр; 4 – ядро питуицита. Гематоксилин и эозин. а, б – увеличение $\times 600$, в – увеличение $\times 400$

Intermediate part of the adenohypophysis (I) and the neural part of the neurohypophysis (II) of the cat (a), mink (б) and fox (в): 1 – chromophobe cell; 2 – basophilic cell; 3 – sinusoidal capillary; 4 – nucleus of the pituitary cell. Hematoxylin and eosin. а, б – magnification $\times 600$, в – magnification $\times 400$

ВЫВОДЫ

1. Гипофиз домашней кошки, американской норки и серебристо-черной лисицы имеет типичное расположение и форму для плотоядных млекопитающих.

2. Железа у исследуемых животных снаружи покрыта соединительнотканной капсулой и

состоит из двух долей (аденогипофиза и нейрогипофиза), которые отделены друг от друга гипофизарной щелью. В аденогипофизе выделяются дистальная, туберальная и промежуточная части, а в нейрогипофизе – нервная часть и воронка гипофиза.

3. Клеточный состав гипофиза не имеет межвидовых отличий и представлен хромофобными и хромофильными (ацидофилы и базофилы) клетками, а также питуицитами. Фолликулы в промежуточной части аденогипофиза у исследуемых животных не обнаружены.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корнилова А.В., Груздова О.В., Карамушкина С.В. Эндокринология: учебное пособие. – Благовещенск, 2019. – 84 с.
2. Фольмерхаус Б., Фревейн Й. Анатомия собаки и кошки. – М., 2003. – 580 с.
3. Wojciech P., Ross M.H. Histology: A Text and Atlas: With Correlated Cell and Molecular Biology. – Lippincott Williams & Wilkins, 2011. – 928 p.
4. Liebich H-G. Veterinary histology of domestic mammals and birds: Textbook And Colour Atlas, 5th edition. – 5m Publishing, 2019. – 504 p.
5. Назарук А.А., Стегней Ж.Г. Морфология гипофиза кошки // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК: мат-лы Междунар. студ. науч. конф., 18–19 марта 2020 г. – Т. 1. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2020. – С. 196.
6. Alrahman A., Shehan N., Saud Z. Anatomical and histological characteristics of pituitary gland in domestic animals // Multidisciplinary Reviews. – 2022. – Vol. 5, № 2. – P. 1–6. – DOI: 10.31893/multirev.2022010.
7. Rayan-Carreira R. Insights from Veterinary Medicine. – Intechopen, 2013. – 292 p.
8. Кузнецов С.Л., Мушкамбаров Н.Н. Гистология, цитология и эмбриология: учеб. для мед. вузов. – М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2007. – 600 с.
9. The Morphometrical and Histological Studies on The Pituitary Gland in Different Age Groups of goats (*Capra hircus*) / N. Nandeshwar, S. Banubakode, R. Charjan [et al.] // Indian Journal of Veterinary Anatomy. – 2022. – Vol. 34, № 2. – P. 83–87.
10. Narayan A., George K.C., Diwan A.D. Morpho-histology of the pituitary gland of the estuarine teleost fish, *Valamugil cunnesius* (Valenciennes) // Proceedings Animal Sciences. – 1984. – Vol. 93, № 6. – P. 565–571. – DOI: 10.1007/BF03186306.
11. Ekici A., Timur M. An anatomical and histochemical examination of the pituitary gland of carp (*Cyprinus carpio*) // Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences. – 2013. – Vol. 37, № 4. – P. 399–403. – DOI: 10.3906/vet-1108-21.
12. Balci B.A., İkiz R., Mutaf B.F. Histomorphological comparison of pituitary gland of dusky grouper (*Epinephelus guaza* L., 1758) and blacktip grouper (*Epinephelus alexandrinus* V., 1828) // Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2006. – Vol. 23, № 2. – P. 183–186. – DOI: 10.12714/egejfas.2006.23.2.5000156802.
13. Mahmood H. (2018). Anatomical and histological study of pituitary gland of the rats in Iraq // Journal of Kerbala University. – 2014. – Vol. 12, № 3. – P. 221–228.
14. Oto Ç., Haziroğlu R.M. Macro-anatomical investigation of encephalon in donkey // Ankara Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi. – 2009. – Vol. 56, № 3. – P. 159–164. – DOI: 10.1501/Vetfak_0000002219.
15. Morphology and ultrastructure of the hypophysis in bactrian camels (*Camelus bactrianus*) / W. Ye, H. Wang, F. Wang [et al.] // International Journal of Morphology. – 2018. – Vol. 36, № 4. – P. 1316–1325. – DOI: 10.4067/S0717-95022018000401316.
16. Anatomical and cytohistological study of the pituitary gland in adult turkey / R. Jahangirfard, A. Shalizar-Jalali, R. Shahrooz [et al.] // Veterinary research forum: an international quarterly journal. – 2019. – № 10(2). – P. 159–163. – DOI: 10.30466/vrf.2019.80365.2068.
17. Cowan D.F., Haubold E.M., Tajima Y. Histological, immunohistochemical and pathological features of the pituitary gland of odontocete cetaceans from the western Gulf of Mexico // Journal of comparative pathology. – 2008. – № 139. – P. 67–80. – DOI: 10.1016/j.jcpa.2008.04.004.
18. Anatomical and histological characteristics of the pituitary gland in the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) from the Adriatic Sea / S. Vuković, H. Lucić, M.D. Gomerčić [et al.] // Veterinarski Arhiv. – 2011. – № 81(1). – P. 143–151.

REFERENCES

1. Kornilova A.V., Gruzдова O.V., Karamushkina S.V., *Endokrinologiya* (Endocrinology), Blagoveshchensk, 2019, 84 p.
2. Fol'merkhaus B., Frevein I., *Anatomiya sobaki i koshki* (Anatomy of the dog and cat), Moscow, 2003, 580 p.
3. Wojciech P., Ross M.H., Histology: A Text and Atlas: With Correlated Cell and Molecular Biology. – Lippincott Williams & Wilkins, 2011. – 928 p.
4. Liebich H-G., Veterinary histology of domestic mammals and birds: Textbook And Colour Atlas, 5th edition. – 5m Publishing, 2019. – 504 p.

5. Nazaruk A.A., Stegnei Zh.G., *Gorinskie chteniya. Innovatsionnye resheniya dlya APK* (Gorinsky Readings. Innovative solutions for agro-industrial complex), Proceedings of the International Student Scientific Conference, March 18-19, 2020, T. 1, Maisky: Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin, 2020, p. 196. (In Russ.)
6. Alrahman A., Shehan N., Saud Z., Anatomical and histological characteristics of pituitary gland in domestic animals, *Multidisciplinary Reviews*, 2022, Vol. 5, No. 2, pp. 1–6, DOI: 10.31893/multirev.2022010.
7. Payan-Carreira R., *Insights from Veterinary Medicine*, Intechopen, 2013, 292 p.
8. Kuznetsov S.L., Mushkambarov N.N., *Gistologiya, tsitologiya i embriologiya* (Histology, cytology and embryology), Moscow: OOO «Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo», 2007, 600 p.
9. Nandeshwar N., Banubakode S., Charjan R. et al., The Morphometrical and Histological Studies on The Pituitary Gland in Different Age Groups of goats (*Capra hircus*), *Indian Journal of Veterinary Anatomy*, 2022, Vol. 34, No. 2, pp. 83–87.
10. Narayan A., George K.C., Diwan A.D., Morpho-histology of the pituitary gland of the estuarine teleost fish, *Valamugil cunnesius* (Valenciennes), *Proceedings Animal Sciences*, 1984, Vol. 93, No. 6, pp. 565–571, DOI: 10.1007/BF03186306.
11. Ekici A., Timur M., An anatomical and histochemical examination of the pituitary gland of carp (*Cyprinus carpio*), *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 2013, Vol. 37, No. 4, pp. 399–403, DOI: 10.3906/vet-1108-21.
12. Balci B.A., İkiz R., Mutaf B.F., Histomorphological comparison of pituitary gland of dusky grouper (*Epinephelus guaza* L., 1758) and blacktip grouper (*Epinephelus alexandrinus* V., 1828), *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2006, Vol. 23, No. 2, pp. 183–186, DOI: 10.12714/egejfas.2006.23.2.5000156802.
13. Mahmood H. (2018), Anatomical and histological study of pituitary gland of the rats in Iraq, *Journal of Kerbala University*, 2014, Vol. 12, No. 3, P. 221–228.
14. Oto Ç., Hazirolu R.M., Macro-anatomical investigation of encephalon in donkey, *Ankara Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*, 2009, Vol. 56, No. 3, pp. 159–164, DOI: 10.1501/Vetfak_0000002219.
15. Ye W., Wang H., Wang F. et al., Morphology and ultrastructure of the hypophysis in bactrian camels (*Camelus bactrianus*), *International Journal of Morphology*, 2018, Vol. 36, No. 4, pp. 1316–1325, DOI: 10.4067/S0717-95022018000401316.
16. Jahangirfard R., Shalizar-Jalali A., Shahrooz R. et al., Anatomical and cytohistological study of the pituitary gland in adult turkey, *Veterinary research forum: an international quarterly journal*, 2019, No. 10(2), pp. 159–163, DOI: 10.30466/vrf.2019.80365.2068.
17. Cowan D.F., Haubold E.M., Tajima Y., Histological, immunohistochemical and pathological features of the pituitary gland of odontocete cetaceans from the western Gulf of Mexico, *Journal of comparative pathology*, 2008, No. 139, pp. 67–80, DOI: 10.1016/j.jcpa.2008.04.004.
18. Vuković S., Lucić H., Gomerčić M.D. et al., Anatomical and histological characteristics of the pituitary gland in the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) from the Adriatic Sea, *Veterinarski Arhiv*, 2011, No. 81(1), pp. 143–151.

Информация об авторах:

Д.Е. Кудрявцева, аспирант

О.В. Распутина, доктор ветеринарных наук, профессор

Contribution of the authors:

D.E. Kudryavtseva, postgraduate student

O.V. Rasputina, Doctor of Veterinary Sciences, Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

МОДЕЛИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОТКОРМА ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

И.Е. Плаксин, А.В. Трифанов

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал), Санкт-Петербург, Россия

E-mail: trifanovav@mail.ru

Для цитирования: Плаксин И.Е., Трифанов А.В. Модели для разработки интеллектуальной системы управления процессом откорма цыплят-бройлеров // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 214–224. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-214-224.

Ключевые слова: сельское хозяйство, животноводство, птицеводство, система управления.

Реферат. Для обеспечения максимальной эффективности птицеводческих предприятий, специализирующихся на производстве мяса, необходимыми условиями являются повышение качества производимой продукции, сокращение производственных издержек, а также минимизация стрессовых ситуаций, возникающих при контакте птицы с обслуживающим персоналом. Соблюдение данных условий обеспечивается за счет использования автоматизированных систем управления технологическими процессами, формирующими управляющие воздействия согласно нормативным данным технологических показателей на определенном временном интервале производственного цикла. Недостатком данных систем является отсутствие учета физиологических потребностей птиц, меняющихся в зависимости от их кондиций. Для решения данной проблемы необходима разработка систем управления, предусматривающих корректировку производственного процесса в реальном времени на основе полученной информации об условиях содержания птиц, их продуктивности, массе и т.д. В основе разработки данных систем находятся зависимости параметров потребления корма, воды, выхода помета, воздухообмена, температуры, освещенности от показателя, определяющего физиологическое состояние птиц. В данной работе в качестве такого показателя рассматривалась масса птиц, определяемая каждые сутки. Целью работы являлось моделирование зависимостей изменения потребления корма, воды, выхода помета, необходимого воздухообмена, температуры и освещенности от увеличения живой массы бройлера на протяжении производственного цикла. Моделирование осуществлялось методом линейной интерполяции на основе нормативных, статистических и экспериментальных данных. Полученные модели позволят разработать систему управления технологическими процессами на птицеводческом предприятии, предусматривающую отслеживание изменений физиологического состояния птиц с дальнейшим формированием управляющих воздействий, обеспечивающих корректировку производственного процесса в реальном времени, за счет чего будет обеспечено повышение эффективности производства, а также сокращение производственных издержек.

MODELS FOR THE DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR THE PROCESS OF FATTENING BROILER CHICKENS

I.E. Plaksin, A.V. Trifanov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch), Saint Petersburg, Russia

E-mail: trifanovav@mail.ru

Keywords: agriculture, animal husbandry, poultry farming, management system.

Abstract. To ensure maximum efficiency of poultry enterprises specializing in meat production, the necessary conditions are improving the quality of manufactured products, reducing production costs, and minimizing stressful situations that arise when birds come into contact with service personnel. Compliance with these conditions is ensured through the use of automated process control systems that generate control actions according to the standard data of process indicators at a certain time interval of the production cycle. The disadvantage of these systems is the lack of consideration of the physiological needs of birds, which change depending on their condition. To solve this problem, it is necessary to develop control systems that provide for the adjustment of the production process in real time based on the information received about the conditions of keeping birds, their productivity, weight, etc. The development of these systems is based on the dependence of the parameters of feed consumption,

water, manure output, air exchange, temperature, illumination on the indicator that determines the physiological state of birds. In this paper, the weight of birds determined every day was considered as such an indicator. The aim of the work was to model the dependencies of changes in feed consumption, water, manure output, required air exchange, temperature and illumination on the increase in live weight of broilers throughout the production cycle. Modeling was carried out using the linear interpolation method based on regulatory, statistical and experimental data. The obtained models will allow developing a process control system at a poultry farm, providing for tracking changes in the physiological state of birds with the subsequent formation of control actions that ensure the adjustment of the production process in real time, due to which an increase in production efficiency will be ensured, as well as a reduction in production costs.

Привлечение в отрасль птицеводства государственных и частных инвестиций позволило в период с 2010 по 2023 г. увеличить производство мяса птицы в 1,9 раза и достичь показателя в 5273 тыс. т в убойном весе.

Наиболее интенсивный рост производственных объемов, составивший 2034 тыс. т, наблюдался в период с 2010 по 2017 г., в период с 2018 по 2022 г. данный показатель резко сократился и составил 377 тыс. т, а в 2023 г. было зафиксировано сокращение производства на 5,3 тыс. т ввиду 50%-го роста цен на мясо цыплят-бройлеров, обусловленного высокой импортозависимостью от племенного материала, медикаментов, кормовых добавок, оборудования и комплектующих, распространения эпидемии гриппа птиц, сокращения производства в приграничных к зоне СВО областях, а также закрытия ряда неконкурентоспособных предприятий¹ [1–3].

Наметившаяся тенденция обосновывает необходимость ужесточения требований к качеству производимой продукции, контролю производственных издержек, минимизации человеческого фактора.

Реализация обозначенных требований на сегодняшний день обеспечивается за счет внедрения в производство систем интеллектуального управления технологическими процессами, применение которых позволяет повысить эффективность производства за счет сокращения трудозатрат, а также минимизировать процент стрессовых ситуаций при контакте птиц с обслуживающим персоналом.

Проведенный анализ существующих систем управления показывает, что контроль за протеканием технологических процессов и формирование управляющих воздействий осуществляется исходя из средних значений показателей на определенном временном интервале

производственного цикла без учета физиологических потребностей птиц (потребность в кормах, воде, количество выделяемого помета, необходимая температура и т.д.) меняющихся в зависимости от их кондиций [4–6].

Для решения данной проблемы ведутся разработки систем управления, предусматривающих получение информации о ряде факторов, таких как условия содержания птиц, продуктивность, двигательная активность, масса и т.д. путем дистанционного зондирования с последующей корректировкой производственного процесса на основе полученных данных в реальном времени [7].

Для реализации данного подхода необходимо получение зависимостей значений определенных параметров (потребление корма, воды, выхода помета, воздухообмена, температуры, освещенности) от показателя, определяющего физиологическое состояние птиц в конкретный момент производственного цикла, в качестве которого в данной работе рассматривалась масса птиц, определяемая каждые сутки.

Исходя из вышеизложенного целью работы являлось моделирование зависимостей изменения потребления корма, воды, выхода помета, необходимого воздухообмена, температуры и освещенности от увеличения живой массы бройлера на протяжении производственного цикла.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения перспективных направлений в области разработки систем управления технологическими процессами на птицеводческих предприятиях был применен метод поисковых исследований, подразумевающий

¹Федеральная служба государственной статистики. Динамика промышленного производства в ноябре 2023 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/313/document/226808>. (дата обращения: 15.01.2025).

анализ применяемых на сегодняшний день технико-технологических решений.

Для определения зависимостей изменения потребления корма, воды, выхода помета, необходимого воздухообмена, температуры, освещенности от увеличения живой массы бройлера на протяжении цикла откорма было проведено численное моделирование методом линейной интерполяции на основе нормативных, статистических и экспериментальных данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Продолжительность производственного цикла откорма бройлеров при реализации интенсивной технологии выращивания составляет 42 сут с постановкой на откорм суточных цыплят.

Моделирование изменения живой массы бройлера осуществлялось исходя из данных среднесуточного потребления корма (табл. 1) и коэффициента его конверсии, принятого 1,6 [8–11].

Таблица 1

Технологические показатели на этапах цикла откорма
Technological indicators at the stages of the fattening cycle

Показатель	Сутки откорма			
	1–5	6–18	19–37	38–42
Среднесуточные привесы, кг/сут	0,0099	0,034	0,086	0,117
Среднесуточное потребление корма, кг/сут	0,0158	0,0538	0,1369	0,1872
Среднесуточный прирост потребления корма, кг/сут	0,0076	0,0064	0,0026	0,0028
Среднесуточное потребление воды, л/сут	0,025	0,086	0,22	0,32
Среднесуточный прирост потребления воды, л/сут	0,012	0,01	0,004	0,0045
Среднесуточный выход помета, кг/сут	0,022	0,075	0,189	0,257
Среднесуточный прирост выхода помета, кг/сут	0,011	0,009	0,004	0,004

Среднесуточный привес бройлера определялся отношением среднесуточного потребления корма к его конверсии:

$$\Delta M = \frac{m_{к.норм}}{K}, \quad (1)$$

где ΔM – среднесуточный привес бройлера, кг/сут; $m_{к.норм}$ – среднесуточное потребление корма бройлером, кг/сут; K – коэффициент конверсии корма.

Полученные значения среднесуточных привесов приведены в табл. 1. Целевая функция изменения живой массы бройлера имеет вид кусочно-линейной функции натурального аргумента, где в качестве коэффициента пропорциональности выступает показатель среднесуточного привеса, являющегося постоянным для каждого временного промежутка цикла откорма:

$$M(t) = \begin{cases} M(1) + \Delta M_{1-5} \cdot (t - 1), & \text{если } 1 \leq t \leq 5 \\ M(5) + \Delta M_{6-18} \cdot (t - 5), & \text{если } 6 \leq t \leq 18 \\ M(18) + \Delta M_{19-37} \cdot (t - 18), & \text{если } 19 \leq t \leq 37 \\ M(37) + \Delta M_{38-42} \cdot (t - 37), & \text{если } 38 \leq t \leq 42 \end{cases}, \quad (2)$$

где M – живая масса бройлера, кг; t – день откорма, сут.

На рис. 1 приведен график изменения живой массы бройлера при учете среднего зна-

чения массы суточного цыпленка – 0,042 кг [11, 12].

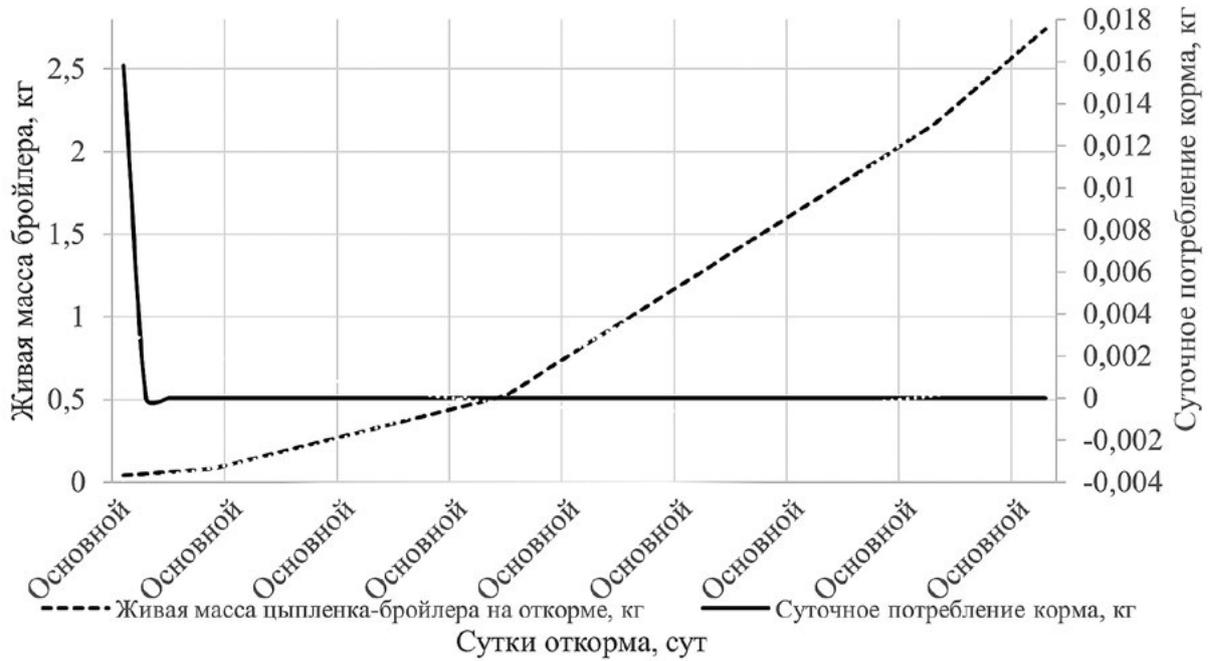


Рис. 1. Изменение живой массы бройлера и суточного потребления корма бройлером на протяжении откорма
Changes in broiler live weight and daily feed consumption during fattening

Проанализировав полученный график можно сделать вывод о целесообразности выполнения линейной интерполяции ввиду ее незначительной погрешности, на что указывает отсутствие скачков в узлах интерполяции.

Для задания целевой функции потребления корма бройлером считаем, что потребление

$$m(t) = \begin{cases} m(1) + \Delta m_{\text{пр}(1-5)} \cdot (t - 1), & \text{если } 1 \leq t \leq 5 \\ m(5) + \Delta m_{\text{пр}(6-18)} \cdot (t - 5), & \text{если } 6 \leq t \leq 18 \\ m(18) + \Delta m_{\text{пр}(19-37)} \cdot (t - 18), & \text{если } 19 \leq t \leq 37 \\ m(37) + \Delta m_{\text{пр}(38-42)} \cdot (t - 37), & \text{если } 38 \leq t \leq 42 \end{cases}, \quad (3)$$

где m – масса корма, кг; t – день откорма, сут.

На рис. 1 приведен график изменения суточного потребления корма бройлером на протяжении откорма, построенный по формуле (3).

Выражение для определения среднесуточного прироста потребления корма на каждом временном промежутке цикла откорма имеет вид:

$$\Delta m_{\text{пр}} = \frac{\Delta m_{\text{к.норм}}}{\Delta t}, \quad (4)$$

где $\Delta m_{\text{к.норм}}$ – разница нормативных показателей потребления корма последующих вре-

корма прямо пропорционально количеству дней определенного промежутка цикла откорма с постоянным коэффициентом пропорциональности, которым является среднесуточный прирост потребления корма для каждого промежутка:

менных промежутках, кг/сут; Δt – количество дней в промежутке откормочного цикла, сут.

Полученные значения среднесуточного прироста потребления корма приведены в табл. 1.

Функция зависимости изменения потребления корма от роста живой массы бройлера является кусочно-линейной функцией действительного аргумента, где постоянным для каждого временного промежутка коэффициентом пропорциональности является отношение изменения суточного потребления корма бройлером к среднесуточным привесам на каждом временном промежутке цикла откорма:

$$m(M) = \begin{cases} m(M(1)) + \Delta m_{\text{пр}(1-5)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{1-5}} (M - M(1)), \text{если } M(1) \leq M \leq M(5) \\ m(M(5)) + \Delta m_{\text{пр}(6-18)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{6-18}} (M - M(5)), \text{если } M(6) \leq M \leq M(18) \\ m(M(18)) + \Delta m_{\text{пр}(19-37)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{19-37}} (M - M(18)), \text{если } M(19) \leq M \leq M(37) \\ m(M(37)) + \Delta m_{\text{пр}(38-42)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{38-42}} (M - M(37)), \text{если } M(38) \leq M \leq M(42) \end{cases}$$

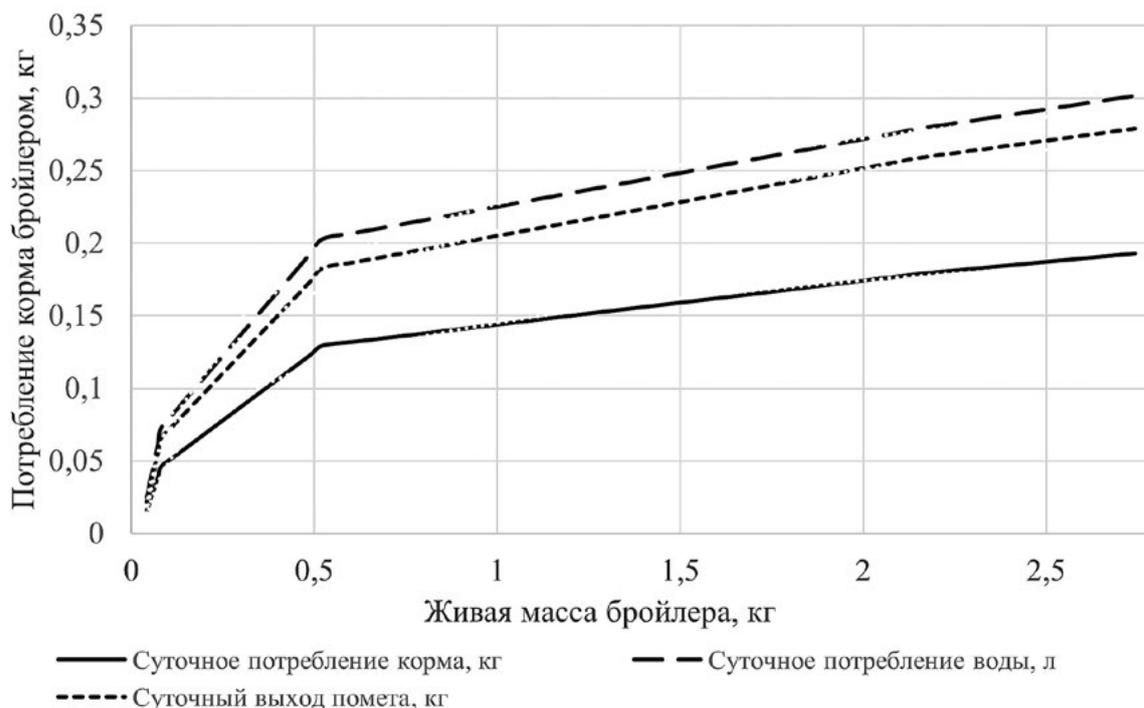


Рис. 2. Изменение суточного потребления корма в зависимости от роста живой массы бройлера
 Change in daily feed consumption depending on the growth of live weight of broilers

На рис. 2 приведен график изменения потребления корма от увеличения живой массы бройлера, построенный по формуле (5).

Согласно приведенному графику целевая функция (5) монотонно возрастает и большему значению массы бройлера соответствует большее значение потребляемого корма. Погрешность интерполяции незначительна, так как в узлах интерполирования отсутствуют скачки.

Согласно статистическим данным на 1 кг сухого корма цыплята-бройлеры потребляют 1,6 л воды¹. Пользуясь данными среднесуточно-

го потребления корма, определим значения по среднесуточному потреблению воды и запишем их в табл. 1 [13].

Целевая функция зависимости потребления воды бройлером задается исходя из пропорциональности потребления воды на каждом временном промежутке цикла откорма количеству дней в данном промежутке, с постоянным коэффициентом пропорциональности – среднесуточным изменением потребления воды – постоянным для каждого временного промежутка.

$$v(t) = \begin{cases} v(1) + \Delta v_{\text{пр}(1-5)} \cdot (t - 1), \text{если } 1 \leq t \leq 5 \\ v(5) + \Delta v_{\text{пр}(6-18)} \cdot (t - 5), \text{если } 6 \leq t \leq 18 \\ v(18) + \Delta v_{\text{пр}(19-37)} \cdot (t - 18), \text{если } 19 \leq t \leq 37 \\ v(37) + \Delta v_{\text{пр}(38-42)} \cdot (t - 37), \text{если } 38 \leq t \leq 42 \end{cases} \quad (6)$$

¹Canadian Poultry. Broilers in the New Millenium [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.canadianpoultrymag.com/broilers-in-the-new-millennium-12316>. (дата обращения: 15.01.2025).

где v – объем воды, л; t – день откорма, сут.

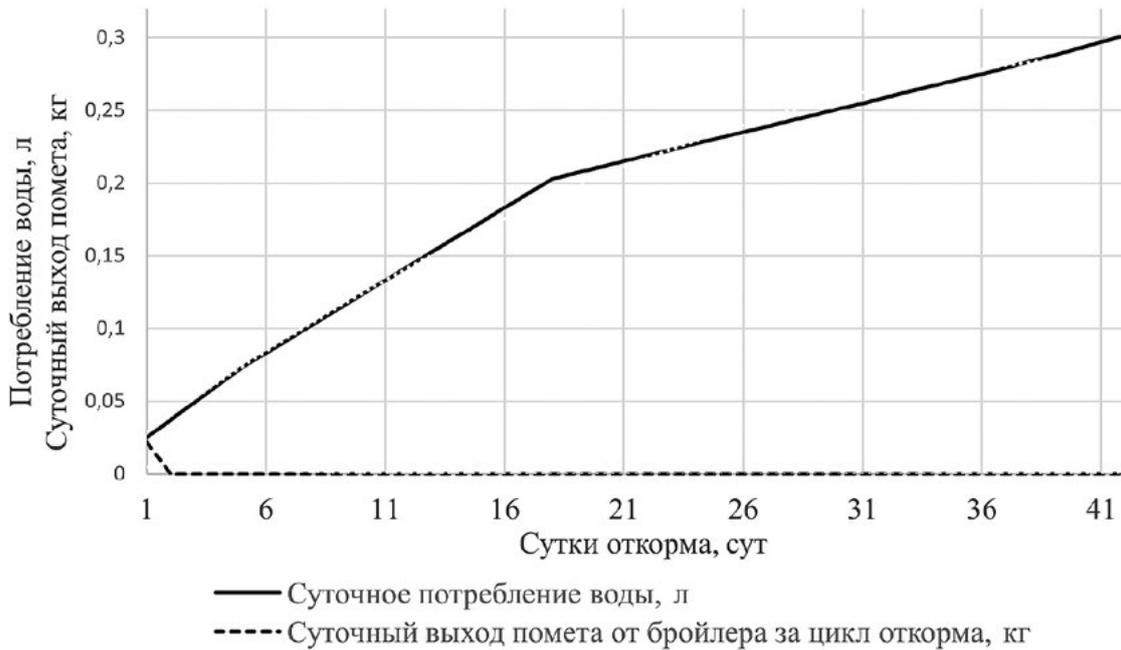


Рис. 3. Изменение суточного потребления воды бройлером за цикл откорма
Change in daily water consumption of broilers during the fattening cycle

На рис. 3 представлен график изменения суточного потребления воды бройлером за цикл откорма.

Отсутствие скачков в узлах интерполирования позволяет сделать вывод о адекватности и целесообразности выполнения линейной интерполяции.

Аналогично определению среднесуточного прироста потребления корма выполняется определение среднесуточного прироста потребления воды по выражению (4) при учете значений потребления воды в начале откорма

и конце откорма, составляющих 0,025 и 0,32 л соответственно, полученные данные приведены в табл. 1.

Зависимость изменения потребления воды от роста живой массы бройлера определяется функцией действительного аргумента, в которой постоянным для каждого временного промежутка коэффициент пропорциональности является отношение изменения суточного потребления воды бройлером к среднесуточным привесам:

$$v(M) = \begin{cases} v(M(1)) + \Delta v_{\text{пр}(1-5)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{1-5}} (M - M(1)), \text{ если } M(1) \leq M \leq M(5) \\ v(M(5)) + \Delta v_{\text{пр}(6-18)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{6-18}} (M - M(5)), \text{ если } M(6) \leq M \leq M(18) \\ v(M(18)) + \Delta v_{\text{пр}(19-37)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{19-37}} (M - M(18)), \text{ если } M(19) \leq M \leq M(37) \\ v(M(37)) + \Delta v_{\text{пр}(38-42)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{38-42}} (M - M(37)), \text{ если } M(38) \leq M \leq M(42) \end{cases} \quad (7)$$

На рис. 2 представлен график изменения потребления воды от увеличения живой массы бройлера.

Согласно данным портала промышленного птицеводства¹ на один килограмм произведенного мяса цыплят-бройлеров приходится

¹Портал промышленного птицеводства. Как перерабатывают птичий помет: удобрение и биогаз [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pticainfo.ru/article/kak-pererabatyvayut-ptichiy-pomet-udobrenie-i-biogaz> (дата обращения: 15.01.2025).

3 кг помета. Учитывая коэффициент убойного выхода бройлеров – 0,75 определим количество помета, приходящееся на прирост одного килограмма живого веса – 2,2 кг.

Определим выход помета для каждого временного промежутка цикла откорма исходя из данных среднесуточных привесов и количества помета, приходящегося на прирост килограмма живой массы бройлеров.

$$g_{\text{к.норм}} = G \cdot \Delta M, \quad (8)$$

где $g_{\text{к.норм}}$ – среднее значение выхода помета на каждом временном промежутке цикла от-

корма, кг; G – выход помета, приходящийся на прирост килограмма живого веса, кг; ΔM – среднесуточный привес бройлера, кг/сут.

Полученные значения выхода помета для каждого временного промежутка цикла откорма приведены в табл. 1.

Запишем целевую функцию зависимости выхода помета от дня откорма, считая, что данный показатель прямо пропорционален количеству дней в определенном промежутке откорма с постоянным коэффициентом пропорциональности $\Delta g_{\text{пр}}$ среднесуточным изменением выхода помета для каждого промежутка.

$$g(t) = \begin{cases} g(1) + \Delta g_{\text{пр}(1-5)} \cdot (t - 1), \text{ если } 1 \leq t \leq 5 \\ g(5) + \Delta g_{\text{пр}(6-18)} \cdot (t - 5), \text{ если } 6 \leq t \leq 18 \\ g(18) + \Delta g_{\text{пр}(19-37)} \cdot (t - 18), \text{ если } 19 \leq t \leq 37 \\ g(37) + \Delta g_{\text{пр}(38-42)} \cdot (t - 37), \text{ если } 38 \leq t \leq 42 \end{cases}, \quad (9)$$

где g – масса помета, кг; t – день откорма, сут.

Определение суточного прироста выхода помета выполняется по выражению (4) при учете значений данного показателя в начале и конце откорма, равных соответственно 0,022 и 0,276 кг. Полученные значения приведены в табл. 1. На рис. 3 представлен график изменения суточного выхода помета от бройлера за цикл откорма.

$$g(M) = \begin{cases} g(M(1)) + \Delta g_{\text{пр}(1-5)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{1-5}} (M - M(1)), \text{ если } M(1) \leq M \leq M(5) \\ g(M(5)) + \Delta g_{\text{пр}(6-18)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{6-18}} (M - M(5)), \text{ если } M(6) \leq M \leq M(18) \\ g(M(18)) + \Delta g_{\text{пр}(19-37)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{19-37}} (M - M(18)), \text{ если } M(19) \leq M \leq M(37) \\ g(M(37)) + \Delta g_{\text{пр}(38-42)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{38-42}} (M - M(37)), \text{ если } M(38) \leq M \leq M(42) \end{cases}. \quad (10)$$

На рис. 2 представлен график изменения выхода помета от роста массы бройлера.

Согласно изменению живой массы бройлера (см. рис. 1), а также значениям рекомендованного воздухообмена для каждого периода года, запишем выражение для определения необходимого воздухообмена в каждый день цикла откорма:

$$V_o = M(t) \cdot v_{\text{н}}, \quad (11)$$

Для определения зависимости изменения выхода помета от роста живой массы бройлера зададим целевую функцию действительного аргумента, в которой коэффициентом пропорциональности является отношение изменения суточного выхода помета к среднесуточным привесам на каждом временном промежутке цикла откорма.

где V – необходимый воздухообмен, м³/ч; $v_{\text{н}}$ – нормативный показатель воздухообмена в зависимости от периода года, м³/ч/кг.

Построим графики изменения воздухообмена в зависимости от изменения массы бройлера с учетом периода года и нормативных значений воздухообмена (РД-АПК 1.10.05.04-13), составляющих в холодный период года 0,7 м³/ч, в теплый период года – 7 м³/ч на 1 кг живой массы (рис. 4).

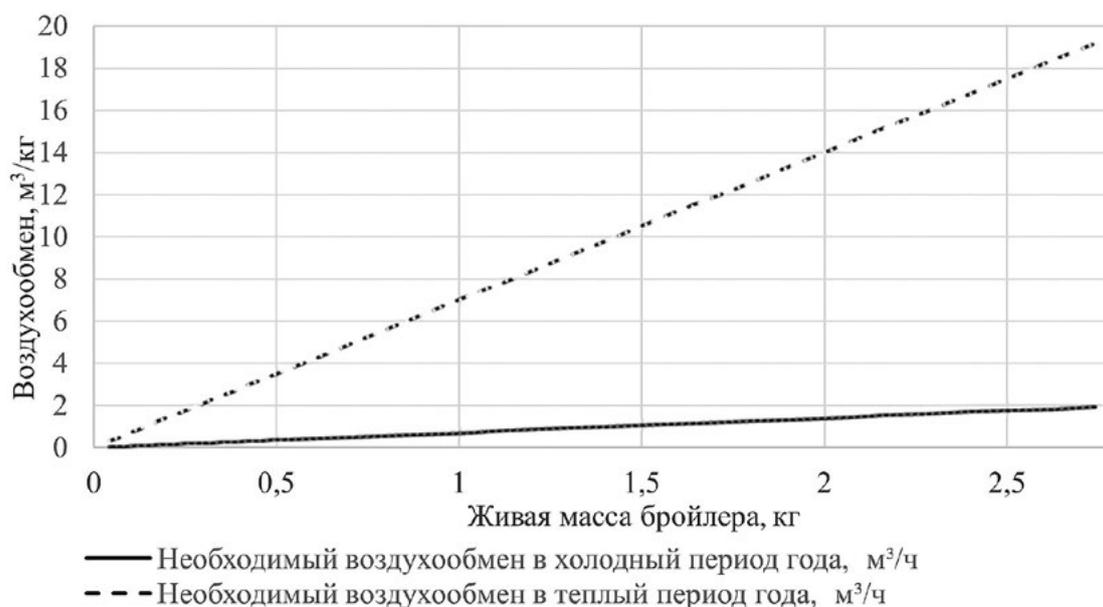


Рис. 4. Изменение воздухообмена в зависимости от роста живой массы бройлера с учетом периода года
Change in air exchange depending on the growth of live weight of broilers, taking into account the period of the year

На основе анализа литературных источников определено, что температура за цикл откорма бройлеров изменяется в диапазоне от 32 до 19,5 °С [14, 15].

Запишем значения температуры по дням цикла откорма и соответствующие им значения

живой массы бройлера в табл. 2. Для каждого из временных промежутков запишем систему линейных уравнений вида $T(M) = kM + b$. Найденные значения постоянных k и b запишем в табл. 2.

Таблица 2

Значения живой массы бройлера, температуры за цикл откорма
Live weight values of broilers, temperatures during the fattening cycle

Масса $M(t)$, кг	$M(1)$ - $M(7)$	$M(7)$ - $M(14)$	$M(14)$ - $M(21)$	$M(21)$ - $M(28)$	$M(28)$ - $M(35)$	$M(35)$ - $M(42)$
Температура $T(t)$, °С	32-31	31-29,5	29,5-27,5	27,5-25	25-22,5	22,5-19,5
k	-9,29	-6,3	-5,08	-4,15	-4,15	-3,96
b	32,39	31,94	31,47	30,74	30,74	30,36

Запишем целевую кусочно-линейную функцию действительного аргумента изменения

температуры в зависимости от роста живой массы бройлера.

$$T(M) = \begin{cases} -9,29M + 32,39 & \text{если } 0,042 \leq M \leq 0,1496 \\ -6,3M + 31,94 & \text{если } 0,1496 < M \leq 0,3876 \\ -5,08M + 31,47 & \text{если } 0,3876 < M \leq 0,7816 \\ -4,15M + 30,74 & \text{если } 0,7816 < M \leq 1,3836 \\ -4,15M + 30,74 & \text{если } 1,3836 < M \leq 1,9856 \\ -3,96M + 30,36 & \text{если } 1,9856 < M \leq 2,7426 \end{cases} \quad (12)$$

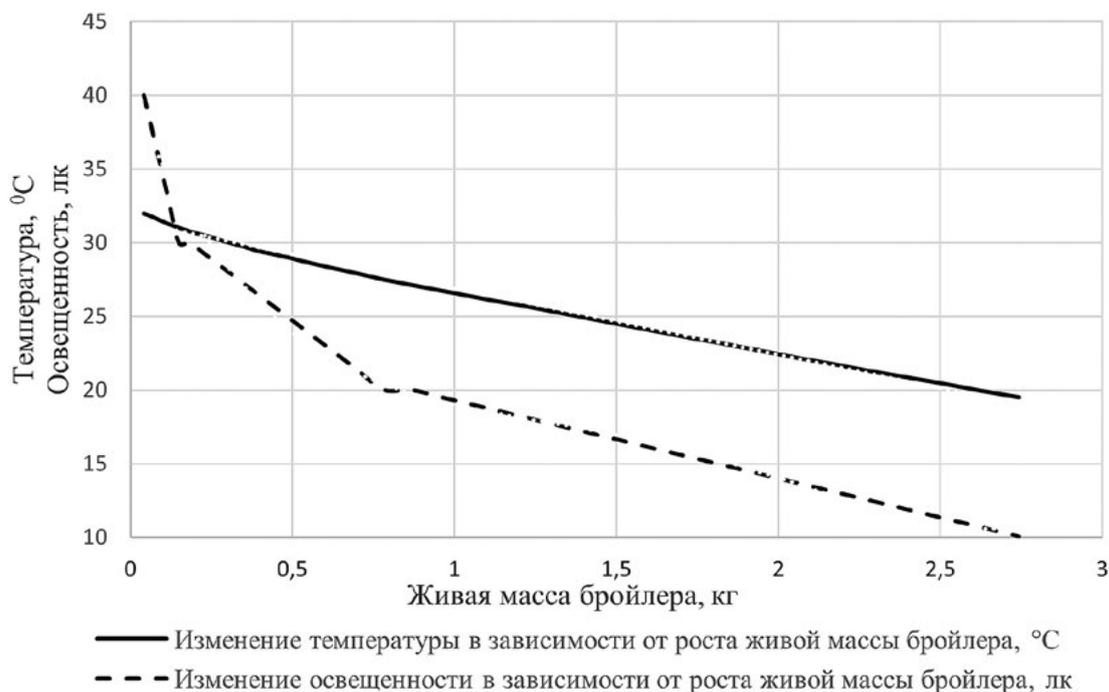


Рис. 5. Изменение температуры в зависимости от роста живой массы бройлера

Temperature change depending on the growth of live weight of broilers

На рис. 5 представлен график зависимости температуры от роста массы бройлера.

Согласно приведенному графику целевая функция (12) монотонно убывает и большему значению массы бройлера соответствует меньшее значение температуры. Погрешность интерполяции незначительна, так как в узлах интерполирования отсутствуют скачки.

На основе анализа литературных источников определено, что освещенность в первую неделю откорма цыплят-бройлеров должна снижаться от

40 до 30 лк, с 8-го по 21-й день от 30 до 20 лк и с 22-го по 42-й день от 20 до 10 лк [16, 17].

В табл. 3 запишем указанные значения освещенности и соответствующие им значения живой массы бройлера в определенные дни откорма.

Аналогично изменению температуры определим зависимости изменения освещенности от роста живой массы бройлера путем линейной интерполяции с определением значений постоянных систем уравнений $L(M) = kM + b$ для каждого массового промежутка. Полученные значения приведены в табл. 3.

Таблица 3

Соответствующие значения живой массы бройлера и освещенности за цикл откорма
Corresponding values of broiler live weight and illumination during the fattening cycle

Масса бройлера $M(t)$, кг	$M(1)–M(7)$	$M(8)–M(21)$	$M(22)–M(42)$
Освещенность L , лк	40–30	30–20	20–10
k	-92,9	-16,7	-5,3
b	43,9	33,07	24,6

Запишем целевую функцию действительного аргумента изменения освещенности в зависимости от роста живой массы бройлера.

$$L(M) = \begin{cases} -92,9M + 43,9, & \text{если } 0,042 \leq M \leq 0,1496 \\ -16,7M + 33,07, & \text{если } 0,1836 \leq M \leq 0,7816 \\ -5,3M + 24,6, & \text{если } 0,8678 \leq M \leq 2,7426 \end{cases} \quad (13)$$

На фоне сокращения производства мяса птицы основной целью птицеводческих предприятий является повышение эффективности производства с единовременным сокращением производственных издержек.

Достижение данной цели возможно за счет внедрения систем управления отслеживающих изменение физиологического состояния птиц в реальном времени с дальнейшим формированием управляющих воздействий для корректировки производственного процесса на основе анализа полученной информации.

Необходимым условием для разработки данных систем является определение зависимостей технико-технологических параметров производственного процесса от параметров, характеризующих физиологическое состояние птиц.

В работе приведены разработанные модели изменения потребления корма, воды, выхода помета, воздухообмена, температуры и освещенности в зависимости от изменения живой массы бройлера за цикл откорма, необходимые

для написания программы системы управления производственным процессом на птицеводческом предприятии, специализирующемся на производстве мяса цыплят-бройлеров.

ВЫВОДЫ

1. Приведенные модели позволяют определить необходимое количество корма, воды, массу помета, воздухообмен, температуру и освещенность на протяжении цикла откорма в зависимости от изменения живой массы бройлеров.

2. Модели дают возможность разработать интеллектуальную систему управления технологическими процессами на птицеводческом предприятии, предусматривающую постоянное отслеживание изменений физиологического состояния птиц с дальнейшим формированием управляющих воздействий, обеспечивающих корректировку производственного процесса в реальном времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батуханов А. Птицеводство в РФ – состояние и перспективы // *Аграрная наука*. – 2021. – № 1. – С. 6–10.
2. Губанов Р.С. О государственной поддержке развития производства продукции птицеводства в России // *Птицеводство*. – 2024. – № 9. – С. 82–87. – DOI: 10.33845/0033-3239-2024-73-9-82-87.
3. Кузьмин В.Н., Маринченко Т.Е. Снижение импортозависимости мясного птицеводства России // *Техника и оборудование для села*. – 2023. – № 2(308). – С. 45–48. – DOI: 10.33267/2072-9642-2023-2-45-48.
4. Сравнительная оценка эффективности выращивания цыплят-бройлеров кроссов Росс-308 и Иза-Ф-15 в условиях промышленной технологии / В.А. Реймер, З.Н. Алексеева, И.Ю. Клемешова [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2021. – № 2(59). – С. 141–148. – DOI: 10.31677/2072-6724-2021-59-2-141-148.
5. Uncertainty analysis of a web-based data acquisition system for poultry management with sensor networks / L. Ya, X. Xu, W. Guo [et al.] // *Engenharia Agricola*. – 2018. – Vol. 38, N 6. – P. 857–863. – DOI: 10.1590/1809-4430-Eng. Agric.v38n6p857-863/2018.
6. Заргарян Е.В. Система управления данными в птичнике // *Молодёжный вестник Новороссийского филиала Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. – 2022. – Т. 2, № 1(5). – С. 78–84. – DOI: 10.51639/2713-0576_2022_2_1_78.
7. Каунов Р.Д., Иванов С.М. Инновационные технологии, применяемые в птицеводстве // *Студенческая наука: сб. тез. 60-й Всерос. студ. науч.-практ. конф., Великие Луки, 18–19 апр. 2024 г.* – Великие Луки: Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, 2024. – С. 62–64.
8. Хамитова В.З., Османян А.К., Малородов В.В. Эффективность выращивания бройлеров в зависимости от схем фазового кормления и использования суперпрестартерного рациона // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. – 2021. – № 4. – С. 79–93. – DOI: 10.26897/0021-342X-2021-4-79-93.
9. Плаксин И.Е., Трифанов А.В. Результаты исследований технологических показателей в экспериментальном модуле выращивания цыплят-бройлеров // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2024. – № 3(72). – С. 240–258. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-72-3-240-258.
10. Борисов С.С., Корнеева К.В. Преимущества поэтапного выращивания бройлеров // *Птица и птицепродукты*. – 2021. – № 4. – С. 32–33.
11. Байковская Е.Ю., Абашкина Е.М., Манукян В.А. Синтетический глицин в комбикормах для цыплят-бройлеров // *Птицеводство*. – 2021. – № 3. – С. 13–16. – DOI: 10.33845/0033-3239-2021-70-3-13-16.
12. Гамко Л.Н., Менякина А.Г., Карпунин В.А. Фармакологические аспекты применения подкислителей воды при выращивании цыплят-бройлеров // *Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2020. – № 4(80). – С. 24–30.

13. Feddes J.J., Emmanuel E.J., Zuidhof M.J. Broiler performance, body weight variance, feed and water intake, and carcass quality at different stocking densities // *Poultry Science*. – 2002. – № 81(6). – P. 774–779. – DOI: 10.1093/ps/81.6.774.
14. Мифтахутдинов А.В., Сайфульмулюков Э.Р., Пономарева Т.А. Тепловой и транспортный стресс в промышленном птицеводстве: проблемы и решение // *Российская сельскохозяйственная наука*. – 2022. – № 4. – С. 60–65. – DOI: 10.31857/S250026272204011.
15. Морозов В.Ю., Калиткина К.А., Колесников Р.О. Влияние снижения относительной влажности воздуха в период выращивания бройлеров на показатели иммунитета и продуктивности // *Аграрный вестник Урала*. – 2023. – Т. 23, № 3. – С. 43–51. – DOI: 10.32417/1997-4868-2023-232-03-43-51.
16. Щербатов В.И., Андреев Д.С. Новые световые режимы для выращивания цыплят-бройлеров и ремонтного молодняка кур // *Птицеводство*. – 2023. – №1. – С. 51–55. – DOI: 10.33845/0033-3239-2023-72-1-51-55.
17. Кавтарашвили А.Ш., Гладин Д.В. Адаптивное управление освещенностью в птичнике при содержании кур в клетках // *Птица и птицепродукты*. – 2024. – № 6. – С. 38–41. – DOI: 10.30975/2073-4999-2024-26-6-38-41.

REFERENCES

1. Batukhanov A., *Agrarnaya nauka*, 2021, No. 1, pp. 6–10. (In Russ)
2. Gubanov R.S., *Ptitsevodstvo*, 2024, No. 9, pp. 82–87, DOI: 10.33845/0033-3239-2024-73-9-82-87. (In Russ)
3. Kuz'min V.N., Marinchenko T.E., *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2023, No. 2(308), pp. 45–48, DOI: 10.33267/2072-9642-2023-2-45-48. (In Russ)
4. Reimer V.A., Alekseeva Z.N., Klemeshova I.Yu. [et al.], *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2021, No. 2(59), pp. 141–148, DOI: 10.31677/2072-6724-2021-59-2-141-148. (In Russ)
5. Yu L., Xu X., Guo W. [et al.], Uncertainty analysis of a web-based data acquisition system for poultry management with sensor networks, *Engenharia Agricola*, 2018, Vol. 38, No. 6, pp. 857–863, DOI: 10.1590/1809-4430-Eng-Agric.v38n6p857-863/2018.
6. Zargaryan E.V., *Molodezhnyi vestnik Novorossiiskogo filiala Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*, 2022, Vol. 2, No. 1(5), pp. 78–84, DOI: 10.51639/2713-0576_2022_2_1_78. (In Russ)
7. Kaunov R.D., Ivanov S.M., *Studencheskaya nauka (Student Science)*, Collection of Abstracts of the 60th All-Russian Student Scientific and Practical Conference, Velikie Luki, 2024, pp. 62–64. (In Russ)
8. Khamitova V.Z., Osmanyan A.K., Malorodov V.V., *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2021, No. 4, pp. 79–93, DOI: 10.26897/0021-342X-2021-4-79-93. (In Russ)
9. Plaksin I.E., Trifanov A.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2024, No. 3(72), pp. 240–258, DOI: 10.31677/2072-6724-2024-72-3-240-258. (In Russ)
10. Borisov S.S., Korneeva K.V., *Ptitsa i ptitseprodukty*, 2021, No. 4, pp. 32–33. (In Russ)
11. Baikovskaya E.Yu., Abashkina E.M., Manukyan V.A., *Ptitsevodstvo*, 2021, No. 3, pp. 13–16, DOI: 10.33845/0033-3239-2021-70-3-13-16. (In Russ)
12. Gamko L.N., Menyakina A.G., Karpukhin V.A., *Vestnik Bryanskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2020, No. 4 (80), pp. 24–30. (In Russ)
13. Feddes J.J., Emmanuel E.J., Zuidhof M.J., Broiler performance, body weight variance, feed and water intake, and carcass quality at different stocking densities, *Poultry Science*, 2002, No. 81(6), pp. 774–779, DOI: 10.1093/ps/81.6.774.
14. Miftakhutdinov A.V., Saiful'mulyukov E.R., Ponomareva T.A., *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka*, 2022, No. 4, pp. 60–65, DOI: 10.31857/S250026272204011. (In Russ)
15. Morozov V.Yu., Kalitkina K.A., Kolesnikov R.O., *Agrarnyi vestnik Urala*, 2023, Vol. 23, No. 3, pp. 43–51, DOI: 10.32417/1997-4868-2023-232-03-43-51. (In Russ)
16. Shcherbatov V.I., Andreev D.S., *Ptitsevodstvo*, 2023, No. 1, pp. 51–55, DOI: 10.33845/0033-3239-2023-72-1-51-55. (In Russ)
17. Kavtarashvili A.Sh., Gladin D.V., *Ptitsa i ptitseprodukty*, 2024, No. 6, pp. 38–41, DOI: 10.30975/2073-4999-2024-26-6-38-41. (In Russ)

Информация об авторах:

И.Е. Плаксин, кандидат технических наук
А.В. Трифанов, кандидат технических наук, доцент

Contribution of the authors:

I.E. Plaksin, Cand. Sc. (Engineering)
A.V. Trifanov, Cand. Sc. (Engineering)

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СБОР НЕКТАРА И ПЫЛЬЦЫ В ВАСЮГАНЬЕ¹А.А. Плахова, ^{2,3}И.Д. Самсонова, ¹С.В. Баталова¹Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия³Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, Уфа, Россия

E-mail: alla.kruglikova@bk.ru

Для цитирования: Плахова А.А., Самсонова И.Д., Баталова С.В. Влияние абиотических факторов на сбор нектара и пыльцы в Васюганье // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 225–231. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-225-231.

Ключевые слова: сбор нектара и пыльцы, пчелы, обножка или перга, Васюганье, температура воздуха, медовый зобик.

Реферат. Погодные условия являются основным фактором, влияющим на выделение нектара и пыльцы растениями и на сбор его пчелами. Климатические условия Васюганских болот отличаются от юга Западной Сибири. Васюганское болото служит гигантским воздушным фильтром, помогающим дышать нашей планете. Кроме того, эта территория расположена в розе ветров, где воздушные массы городов с промышленными газами обходят ее стороной. По сбору нектара кормовая база Васюганья обеспечивает рентабельность пасеки, но для полного решения этой проблемы необходимо знать, сколько пыльцы собирают пчелы с момента выставки из зимовника и до постановки в зимовник. Целью исследований явилось изучение влияния абиотических факторов на сбор нектара и пыльцы в Васюганье. Наблюдения и камеральная обработка полученных данных проводились по «Методам проведения научно-исследовательских работ в пчеловодстве». В Васюганье в утренние и вечерние часы отмечается более низкая температура воздуха, при которой пыльца не созревает. Так, фактическая нагрузка медового зобика в районе Васюганья резко отличается от нагрузки медового зобика в южной части Западной Сибири. В южных районах Западной Сибири, в Горной Шории нагрузка медового зобика составляет 57 мг. В условиях Барзасской тайги сбор пыльцы составляет от 800 до 1000 г в день. Средняя нагрузка медового зобика в Васюганье в мае составила 22,20±0,50 мг, приносит обножки – 15,32 мг. В июне с повышением среднемесячной температуры увеличивается и нагрузка медового зобика – 24,00±0,69 мг, а также масса обножки – 22,30 г. В июле показатели достигли максимального значения 26,40±0,78 мг и 34,03 г соответственно. В августе с изменением погодных условий изучаемые показатели уменьшились. В районе Васюганья количество дней с благоприятными для выделения нектара и пыльцы температурами составляет 156, средняя температура воздуха май–август – 15–23 °С, что создает неблагоприятные условия для произрастания медоносной растительности, выделяющей пыльцу, в связи с этим данного биологического ресурса достаточно для полноценного развития и работоспособности пчелиной семьи, но получить товарную обножку и пергу не представляется возможным.

THE INFLUENCE OF ABIOTIC FACTORS ON THE COLLECTION OF NECTAR AND POLLEN IN VASYUGAN¹A.A. Plakhova, ^{2,3}I.D. Samsonova, ¹S.V. Batalova¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia²Sankt-St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, Saint Petersburg, Russia³Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, Ufa, Russia

E-mail: alla.kruglikova@bk.ru

Keywords: nectar and pollen collection, bees, pedicle or perga, Vasyuganye, air temperature, honey zobik.

Abstract: Weather conditions are the main factor influencing the release of nectar and pollen by plants and its collection by bees. The climatic conditions of the Vasyugan marshes differ from the south of Western Siberia. The Vasyugan bolo serves as a giant air “filter” that helps our planet breathe. In addition, this territory is located in the rose of the winds, where the airless masses of cities with industrial gases bypass it. By collecting nectar,

the Vasyugan forage base ensures the profitability of the pasture, but in order to fully solve this problem, it is necessary to know how much pollen bees collect from the moment of the exhibition from the winter garden and before they are placed in the winter garden. The aim of the research was to study the influence of abiotic factors on the collection of nectar and pollen in the Vasyugan region. Observations and in-house processing of the obtained data were carried out according to «Methods of conducting scientific research in beekeeping». In Vasyugan, in the morning and evening hours, there is a lower air temperature at which pollen does not ripen. Thus, the actual load of honey goiter in the Vasyugan region differs sharply from the load of honey goiter in the southern part of Western Siberia. In the southern regions of Western Siberia, in the Mountain Shoria, the load of honey goiter is 57 mg. In the conditions of the Barzas taiga, pollen collection ranges from 800 to 1000 g per day. The average load of honey goiter in Vasyugan, in May, was 22.20 ± 0.50 mg, the weight gain was 15.32 mg. In June, with an increase in the average monthly temperature, the load of honey goiter increases – 24.00 ± 0.69 mg, and the weight of the leg is 22.30 g. In July, the indicators reached a maximum value of 26.40 ± 0.78 mg and 34.03 g, respectively. In August, with the change in weather conditions, the studied indicators decreased. In the Vasyugan region, the number of days with favorable temperatures for the release of nectar and pollen is 156, the average air temperature in May–August is 15–23°C, which creates unfavorable conditions for the growth of honey-bearing vegetation that releases dust, therefore this biological resource is sufficient for the full development and efficiency of the bee family, but to obtain a marketable leg and a parchment is not possible.

Метеорологические условия являются главными условиями, которые воздействуют на выделение нектара и пыльцы растениями и на добычу этих веществ *Apis mellifera*, L. Ключевыми факторами считаются: комбинированное влияние силы ветра, солнечная радиация, температура, осадки, роса, испарения и атмосферное давление [1, 2]. А.Е. Lundie считает, что свет – это движущая сила, которая влияет на летную активность медоносных пчел [3].

Выделение нектара растениями определяется совокупностью критериев (состояние атмосферы, почвы, температуры, влажности, освещения и др.) и поэтому в иных почвенных и климатических обстановках нектаропродуктивность сильно отличается и не выражается неизвестной непрерывной единицей. Признак горячности или холодности является наивысшим показателем для соответствия нормальному выделению нектара и пыльцы *Plantae*, Naeskel. Самая маленькая температура, способствующая выделению нектара у большей части растений, располагается в границах от 10 до 12 °С. Большинство ученых считают, что особенно предпочтительная для отделения нектара температура составляет от шестнадцати до двадцати пяти градусов по Цельсию [4–8].

J. Louveaux [9], Н.С. Koch [10] исследовали сбор пчелами нектара и пыльцы в период цветения медоносных растений в районах с морским и континентальным климатом. L.G. Olson определил, что медосбор может оказывать влияние на объем обножки, приносимой пчелами [11].

Изучение условий сбора нектара и цветочной пыльцы *Apis mellifera* L. севернее от 55⁰ северной широты велись общепризнанными специалистами в области пчеловодства: Н.Н. Карташовой [12, 13], В.Г. Кашковским [14–17], Д.Т. Найчуковым [18], А.А. Плаховой [19, 20], В.Н. Киселевым [21].

Для разведения пчел с целью получения продуктов, а также для опыления энтомофильных сельскохозяйственных культур медоносным пчелам требуется цветень, из которого изготавливают хлебину и нектар, из которого вырабатывают мед. Добыча нектара в Васюганских болотах достаточна для прибыльного содержания пчеловодных хозяйств, но для полноценного ведения пчеловодства нужно установить, какое количество пыльцы *Apis mellifera* L. получают в течение всего пчеловодного сезона.

Целью исследований явилось изучение влияния абиотических факторов на сбор нектара и пыльцы в Васюганье.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования и разработки велись в природном регионе – Западная Сибирь, конкретно – в Коченевском районе Новосибирской области, на Васюганских болотах. Это одно из наиболее огромных болотных образований в мире, расположенных междуречье Оби и Иртыша, на территории Васюганской равнины. Для оценки медоносной базы Васюганья и установления того, какое количество *Apis mellifera* L. дают нектара, вычисляли, какая масса сахаристого вещества доставляется в улей одной особью за один полет. Изучение наполнения медового зобика у неплодных женских пчелиных особей осуществлялось с мая по август в пятнадцати пчелиных единицах (каждая пчелиная семья насчитывала 50 тыс. рабочих пчел). В отдельном пчелином семействе завешивание проводили по сто экземпляров. Таким образом, было взвешено 1500 рабочих пчел. Уже в XX в. Л.К. Паряева писала о том, что быстрое наполнение

медовика зобика нектаром способствует тому, что пчелы делают больше рейсов в единицу времени от цветков к улью и обратно. Это позволяет им расходовать меньше нектара на свое питание во время полетов и приносить больше меда в улей [22]. По морфологии и поведению рабочей пчелы на прилётной доске улья можно примерно установить вместимость кропуса. Чтобы определить рабочую нагрузку пчелы, в утренние часы ловили выходящих из летка пчел и взвешивали их на электронных лабораторных весах ВК-600. Затем отлавливали и определяли вес рабочих пчел, прилетающих с нектаром в улей (без обножки). По разнице в весе определяли среднюю рабочую нагрузку пчел данной семьи. Чтобы определить величину пыльцы, собираемой пчелами, применяли пыльцеуловители. С помощью приспособления собирали обножку, затем цветочную пыльцу каждого цвета отдельно вешали на приборе для определения массы тел, ВК-600 [23]. Имеющиеся экспериментальные данные анализировали с использованием методов математической статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Климат Васюганья отличен от климатических условий южных территорий Западной Сибири. В данном природном регионе на 2–3 недели ранее наступает зима и на две недели позже приходит весна, ночью наружная температура воздуха ниже на 5–7 °С, чем в степной природной зоне Западной Сибири. Авторами при изучении погоды в районе Васюганской наклонной пластовоаккумулятивной равнины опытным путем установлена последовательность, которую определили раньше: Большое Васюганское болото оказывает обогревающее влияние на приземный атмосферный слой в зимний период (на 2 °С) и охлаждающее – в летний период (на 1 °С). Поэтому, подобно большому водному объекту, большое болотное образование сильно влияет на экосистему.

Данный избыточно увлажненный участок земли со стоячей водой и зыбкой поверхностью, заросший влаголюбивыми растениями, является громадным воздушным фильтром, способствующим дыханию планеты Земля. Торфяные болота поглощают из воздушной оболочки Земли ядовитые вещества и соединяют углерод, предотвращая тепличный эффект. Тут же берут свое начало двадцать рек. Помимо этого, самое большое болото в мире расположено в розе ветров, где воздух

крупных населенных пунктов с индустриальными газами огибает его кругом [24].

В ходе исследования было установлено, что вместимость медового зобика в таежно-болотной системе, расположенной на севере левобережной части Новосибирской области, резко отличается от нагрузки медового зобика пчел, проживающих в южной части Западной Сибири. Севернее 55° северной широты среднее арифметическое нагрузки исчисляется от 13,7 до 31,7 мг, наименьшая зафиксирована в августе – 9 мг; а южнее 55° северной широты, в Горной Шории, нагрузка составляет 57 мг [25].

Получены данные отбора пыльцевой обножки от восьми пчелиных семей в районе Васюганских болот за четыре месяца. В мае в среднем от испытуемых пчелиных семей за день собрано 31,5±3,70 г обножки, в июне, июле, августе соответственно 37,3±6,57; 36,4±4,45; 7,9±2,19 г цветочной пыльцы. Вследствие полученных материалов было установлено, что севернее Транссибирской магистрали пчелиная семья еле-еле удовлетворяет себя хлебной. Промежуточный сбор комочков пыльцы от одной пчелиной семьи за пчеловодный сезон в день установлен 28,3±3,04 г, за весь период исследования масса полученной обножки составила 3456,4 г.

На территории севернее от 55 до 58° северной широты и от 75 до 83° восточной долготы Западной Сибири утром и вечером опускается температура наружного воздуха ниже, при которой цветочная пыльца не созревает. Имеются данные о том, что в северной части пчелы получают цветень с *Taraxacum officinale* Wigg. по времени ограничено: с 14:00 до 16:00. А на юге Западной Сибири одуванчик лекарственный дает цветочную пыльцу от восхода до захода солнца, т. е. весь день, а в большинстве своем – с 9:00 до 14:00. Сопоставление получения человеком обножки показало, что на территории Барзасской тайги ее производят от 800 до 1000 г в день [26]. Если в этих условиях применяется двухкорпусная система ведения пчелы медоносной, то восковые соты нижнего корпуса сполна заняты ценным белковым кормом, следовательно, в этом районе нужно заблаговременно приготавливать цветочную обножку или хлебину. В Васюганском севере пыльцы, принесенной в улей, и хлебину достаточно лишь для выкормки расплода пчел и собственного потребления пчелами.

Проведенные опыты изучения деятельности пчел по сбору корма представлены в таблице.

Абиотические факторы, влияющие на добычу нектара и пыльцы медоносными пчелами в течение пчеловодного сезона
Abiotic factors affecting nectar and pollen production by honey bees during the beekeeping season

Характеристика условий и работа пчел	Май	Июнь	Июль	Август
Среднеголетняя температура воздуха, °С	15,0	22,0	23,0	21,0
Кол-во ясных дней/ кол-во дней с длительными осадками	8/8	11/8	6/18	9/10
Кол-во осадков, мм	49	60	70	59
Сбор нектара в среднем на одну пчелиную семью, кг	19,98±0,50	21,60±0,50	23,76±0,80	17,77±0,80
Сбор обножки пчелиной семьей, г	459,6±3,70	669,20±6,57	1021,5±4,45	379,40±2,19

Исследовали пчелиные семьи, которые насчитывали пятьдесят тысяч рабочих пчел, летную деятельность выполняли лишь пять тысяч, а срок пять тысяч неплодных самок осуществляли работы внутри гнезда. Рабочие пчелы первого периода жизни делают сложную работу: принимают от летных пчел нектар и перерабатывают его в мед, кормят личинок старшего возраста кашицей, кормят личинок младшего возраста (личинок рабочих пчел, трутней, маток). На разностороннюю деятельность пчелы затрачивают много сил, вследствие чего рабочие пчелы изнашиваются и живут не более 40 дней. Во время главного медосбора продолжительность жизни рабочих пчел составляет 20 дней. Нам известно, сколько пчела доставляет за один вылет нектара, а в день пчела медоносная вылетает в среднем 6 раз, поэтому установили количество нектара, приносимого за месяц. В ходе исследований была определена работоспособность пчелиной едини-

цы по сбору нектара и пыльцы с мая по август. Результаты отражены на рис. 1.

Выделение нектара растениями напрямую связано с абиотическими факторами (температурный диапазон). У медоносных растений, которые цветут рано весной, нектаровыделение наступает, когда температура наружного воздуха доходит до 8–10 °С, у цветущих позднее – более 16 °С. С повышением наружной температуры воздуха, как правило, повышается выделение нектара (до очевидных лимитов), при этом нектарные железы становятся более проницаемыми, текучесть их увеличивается, таким образом, растворяющая возможность воды возрастает, а химические колебания в цветке происходят легче и с большей силой. Впрочем, для выделения нектара клетками тепловое состояние от 16 до 18°С и даже 20 °С для значительной части растений, особенно имеющих цветки летом, может быть недостаточным. Самая благоприятствующая температурой для выделения нектара – 16–25 °С [7, 8].

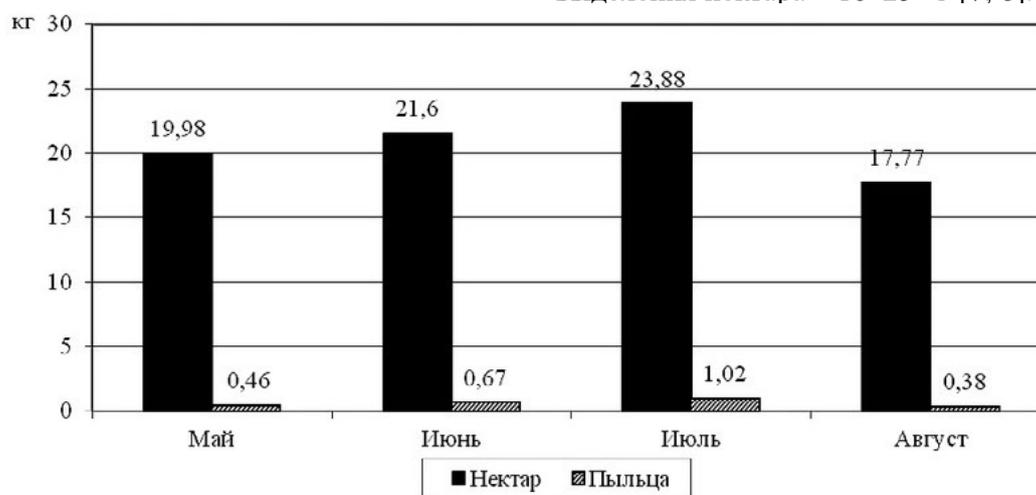


Рис. 1. Сбор нектара и пыльцы одной пчелиной единицей в течение сезона
 Collection of nectar and pollen by one bee unit during the season

Средняя дневная температура наружного воздуха в мае не выше 20 °С. Данная температура способствует выделению нектара далеко не у всех медоносных растений, и пыльцевые зерна созревают также не всегда. Следовательно, метеорологические условия во время сбора меда не содействуют ульевым пчелам приносу большего груза в кропусе. Средняя вместимость медового зобика в мае равна 22,20±0,50 мг, а пыльцевой обножки получено 15,32 мг. С увеличением промежуточной температуры наружного воздуха в июне растет и ноша медового резервуара, она составляет 24,00±0,69 мг, вес цветочной пыльцы тоже больше и равен 22,30 г. Во втором месяце лета, когда температура воздуха

наибольшая за сезон, количество нектара, с которым пчела прилетает в улей, возрастает и является самой большой: 26,40±0,78 мг. В июле произрастает больше растений, дающих пыльцу, чем в предыдущие месяцы, поэтому пчелы за день приносили 34,03 г обножки. В последний месяц лета долгота дня уменьшается, ночью становится холоднее. Перемена погоды в конце летнего взятка приводит к тому, что большая часть медоносных растений уже закончили цветение и корма в медовый резервуар пчелы набрали мало, всего до 19,70±0,79 мг, то же самое касается приноса обножки, вес ее составил 12,64 г (рис. 1 и 2).

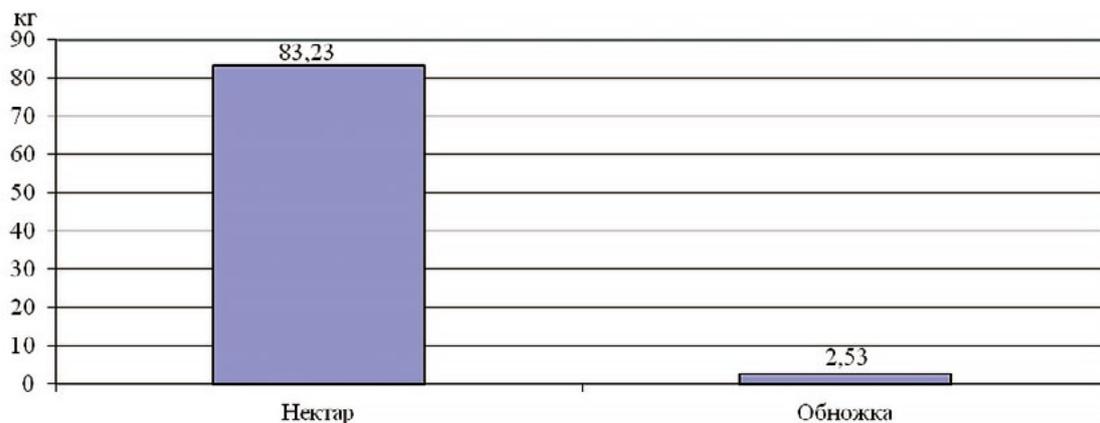


Рис. 2. Суммарный сбор нектара и пыльцы за весь сезон одной семьей на Васюганских болотах
Total collection of nectar and pollen for the entire season by one family in the Vasyugan swamps

Таким образом, нектара за весь сезон от одной семьи получено 83,23 кг. Это говорит том, что Васюганские болота характеризуются хорошими медосборными условиями и доказывает, что в условиях северных районов Новосибирской области возможно содержать *Apis mellifera* L. для производства товарного меда. Однако пчелиной обножки за сезон получено всего 2,53 кг, а этого количества достаточно только для жизнедеятельности пчелиных семей.

В результате исследований установлено, что понижение температуры способствует уменьшению добычи обножки. Наилучшая температура воздуха для выделения нектара и пыльцы медоносными растениями была в июле: пыльцы получали больше, чем нектара. Таким образом, понижение температуры не так сильно влияет на выделение нектара растениями, как на образование пыльцы. В месте самого большого болота в мире дней и часов с низким градусом гораздо больше, чем в южном направлении (Барзасская тайга). В связи с этим приготовленного «пчелиного хлеба» в Васюганских болотах хватит лишь для удовлетворения жизни медоносных

пчел. Перги для реализации как коммерческой продукции в данном регионе *Apis mellifera* L. не имеют возможности получить, потому что в этом месте растений-пыльценосов растет незначительное количество. Кроме того, температура не способствует образованию цветочной пыльцы.

ВЫВОДЫ

1. На территории Васюганских болот в середине лета, когда наивысшая наружная температура воздуха, наполнение медового зобика доходило до наибольшего значения 26,40±0,78 мг, а вес цветочной пыльцы в день 34,03 г, что определяется достаточным цветением растений-пыльценосов и значительным выделением нектара.

2. При хорошей погоде, с повышением средней температуры наружного воздуха более 20 °С, сбор пыльцы превышает сбор нектара. В июне накопление нектара составило 21,6 кг, сбор обножки – 669,2 г, в июле 23,76 кг и 1021,5 г соответственно.

3. Севернее от 55⁰ северной широты число дней с предпочтительными для выделения

нектара и пыльцы температурами условиями составляет 156, средняя температура наружного воздуха май–август – 15–23 °С, и это определяет отрицательные условия для роста медоносов, дающих пыльцу.

4. Семьи медоносных пчел на территории Васюганских болот за период пчеловодного сезона добывают цветочную пыльцу в количестве, необходимом для полноценного их развития и работоспособности, но без получения товарной обножки и перги.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Spangler H.G., Waller G.D., Owens C.D.* Effects of air movement at the hive entrance on the flight activities of honeybees // *Journal of Apicultural Research*. – 1969. – № 8(3). – P. 133–138.
2. *Волтон Г.М.* Погодные факторы, влияющие на производство меда с белого клевера (*Trifolium repens* L.) в южных районах Новой Зеландии // XXVI Междунар. конгр. по пчеловодству. Румыния. – Бухарест, 1977. – С. 430–433.
3. *Lundie A.E.* The flight activities of the honeybees // *United States. Department of Agriculture, Department Bulletin*. – 1925. – № 1328. – P. 1–38.
4. *Важнейший резерв медоносной базы / А.Н. Бурмистров, Т.П. Самохвалова, В.Б. Дроздов, А.И.Образцова // Пчеловодство*. – 2000. – № 8. – С. 26–29.
5. *Копелькиевский Г.В., Русакова Т.М.* Нектаропродуктивность гречихи и урожай // *Пчеловодство*. – 1976. – № 9. – С. 24–26.
6. *Остащенко-Кудрявцева А.К.* Нектаропродуктивность некоторых культурных и дикорастущих растений. – Пятигорск, 1937. – 96 с.
7. *Чекрыга Г.П., Плахова А.А.* Характеристика основных медоносов Западной Сибири по пыльцевой обножке, собранной *Apis mellifera*: монография. – Новосибирск, 2018. – 156 с.
8. *Динамика нектаровыделения лесными медоносами в зависимости от абиотических факторов и биоморфологических признаков / И.Д. Самсонова, Д.А. Баймуканов, В.Н. Саттаров [и др.] // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Сер. биологическая и медицинская*. – 2021. – № 3. – С. 65–73.
9. *Louveaux J.* Les modalites de Padaption des abeilles (*Apis mell. L.*) au milieu naturel // *Annales de l'Abeille*. – 1966. – № 4(4) – P. 323–350.
10. *Koch H.C.* Ergebnisse der Waagstockbeobachtungen von Pfalz-Rheinessen 1956/1966 // *Imkerztg.* – 1967. – № А 9 – P. 296–303.
11. *Olson L.G.* Pollen gathering by honey in Southern Michigan: ehesis. – Michigan State University. East Lansing: Michigan agricultural college, 1975. – 35 p.
12. *Карташова Н.Н.* Медоносные растения Томской области. – Томск, 1955. – 80 с.
13. *Карташова Н.Н.* Медоносные ресурсы Томской области // В помощь работникам сельского хозяйства. – Томск, 1995. – Вып. 4. – 80 с.
14. *Кашиковский В.Г.* Содержание и разведение медоносных пчел *Apis mellifera* L. – Киев, 2019. – 424 с.
15. *Кашиковский В.Г.* Содержание и разведение медоносных пчел *Apis mellifera* L. – СПб., 2021. – 423 с.
16. *Ecology and biological resources of melliferous plants in the Vasyugan Plain and their importance for the Arctic belt / V.G. Kashkovskii, A.A. Plakhova, I.V. Moruzi [et al.] // International Journal of Engineering and Technology*. – 2018. – Vol. 7, № 4.38. – P. 235–238.
17. *Кашиковский В.Г., Плахова А.А.* Развитие пчелиных семей и их продуктивность в условиях Васюганских болот // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2016. – № 4(41). – С. 130–136.
18. *Найчуков Д.Т.* Опыт получения высоких медосборов в Сибири. – Томск, 1960. – 32 с.
19. *Плахова А.А.* Первый опыт по освоению богатств Васюганских болот // *Инновации и продовольственная безопасность*. – 2022. – № 3(37). – С. 90–95.
20. *Плахова А.А.* Медоносы Васюганских болот // *Пчеловодство*. – 1998. – № 6. – С. 19–21.
21. *Киселев В.И.* Тенденции на мировом рынке меда // *Пчеловодство*. – 1997. – № 3. – С. 62–64.
22. *Параева Л.К.* Медоносные растения Кемеровской области – Кемерово, 1957. – 176 с.
23. *Фундаментальные методы исследований в пчеловодстве и их результаты / В.Н. Саттаров, И.Д. Самсонова, И.А. Морев, Р.А. Ильясов*. – Уфа, 2023. – 183 с.
24. *Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / под общ. ред. чл.-кор. РАН М.В. Кабанова*. – Томск, 2002. – 230 с.
25. *Перепелова Л.И.* Воронежская опытная станция // *Пчеловодство: работы совещ. при Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В.И. Ленина / под ред. акад. Е.Ф. Лискуна* – М.; Л., 1937. – С. 190–192.
26. *Плахова А.А.* Индивидуальные различия у пчелиных семей по сбору обножки // *Пчеловодство*. – 2007. – № 1. – С. 48–49.

REFERENCES

1. Spangler H.G., Waller G.D., Owens C.D. Effects of air movement at the hive entrance on the flight activities of honeybees, *Journal of Apicultural Research*, 1969, No. 8(3), pp. 133–138.
2. Uolton G.M. *XXVI Mezhdunar. kongr. po pchelovodstvu. Rumynija (XXVI International. Congr. on beekeeping)*, Romania, Buchares, 1977, pp. 430–433. (In Russ.)
3. Lundie A.E. The flight activities of the honeybees United States. Department of Agriculture, Department Bulletin, 1925, No 1328, pp. 1–38.
4. Burmistrov A.N., Samohvalova T.P., Drozdov V.B., Obrazcova A.I., *Pchelovodstvo*, 2000, No. 8, pp. 26–29. (In Russ.)
5. Kopel'kievskij G.V., Rusakova T.M., *Pchelovodstvo*, 1976, No. 9, pp. 24–26. (In Russ.)
6. Ostashhenko-Kudrjavceva A.K., *Nektaroproduktivnost' nektoryh kul'turnyh i dikorastushhih rastenij* (Nectar productivity of some cultivated and wild plants), Pyatigorsk, 1937, 96 p.
7. Chekryga G.P., Plahova A.A., *Harakteristika osnovnyh medonosov Zapadnoj Sibi-ri po pyl'cevoj obnozhki, sobrannoj Apis mellifera* (Characteristics of the main honey plants of Western Siberia by pollen collected by *Apis mellifera*), Novosibirsk, 2018, 156 p.
8. Samsonova I.D., Bajmukanov D.A., Sattarov V.N., Semenov V.G., Kargaeva M.T., *Izvestija Nacional'noj akademii nauk Respubliki Kazah-stan. Serija biologicheskaja i medicinskaja*, 2021, No. 3, pp. 65–73. (In Russ.)
9. Louveaux J., Les modalities de Padaption des abeilles (*Apis mell. L.*) au milieu naturel, *Annales de l'Abeille*, 1966, No. 4(4), pp. 323–350.
10. Koch H.C., Ergebnisse der Waagstockbeobachtungen von Pfalz-Rhein Hessen 1956/1966, *Imkerztg*, 1967, No. A 9, pp. 296–303.
11. Olson L.G., *Pollen gathering by honey in Southern Michigan*: e thesis, Michigan State University, East Lansing: Michigan agricultural college, 1975, 35 p.
12. Kartashova N.N., *Medonosnye rastenija Tomskoj oblasti* (Honey plants of the Tomsk region), Tomsk, 1955, 80 p. (In Russ.)
13. Kartashova N.N., *V pomoshh' rabotnikam sel'skogo hozjajstva*, Tomsk, 1995, Vyp. 4, pp. 80. (In Russ.)
14. Kashkovskij V.G., *Soderzhanie i razvedenie medonosnyh pchel Apis mellifera L.* (Maintenance and breeding of honey bees *Apis mellifera L.*), Kiev, 2019, 424 p.
15. Kashkovskij V.G., *Soderzhanie i razvedenie medonosnyh pchel Apis mellifera L.* (Maintenance and breeding of honey bees *Apis mellifera L.*), Saint-Petersburg, 2021, 423 p.
16. Kashkovskii V.G., Plakhova A.A., Moruzi I.V., Tokarev V.S., Kropachev D.V., Ecology and biological resources of melliferous plants in the Vasyugan Plain and their importance for the Arctic belt, *International Journal of Engineering and Technology*, 2018. Vol. 7, No. 4.38, pp. 235–238.
17. Kashkovskij V.G., Plahova A.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*, 2016, No. 4 (41), pp. 130–136. (In Russ.)
18. Najchukov D.T., *Opyt poluchenija vysokih medosborov v Sibiri* (The experience of obtaining high honey collections in Siberia), Tomsk, 1960, 32 p.
19. Plahova A.A., *Innovacii i prodovol'stvennaja bezopasnost'*, 2022, No. 3 (37), pp. 90–95. (In Russ.)
20. Plahova A.A., *Pchelovodstvo*, 1998, No. 6, pp. 19–21. (In Russ.)
21. Kiselev V.I., *Pchelovodstvo*, 1997, No. 3, pp. 62–64. (In Russ.)
22. Paraeva L.K., *Medonosnye rastenija Kemerovskoj oblasti* (Honey plants of the Kemerovo region), Kemerovo, 1957, 176 p.
23. Sattarov V.N., Samsonova I.D., Morev I.A., Il'jasov R.A., *Fun-damental'nye metody issledovanij v pchelovodstve i ih rezul'taty* (Fundamental research methods in beekeeping and their results), Ufa, 2023, 183 p.
24. *Bol'shoe Vasjuganskoe boloto. Sovremennoe sostojanie i proces-sy razvitiija* (The big Vasyugan swamp. Current state and development processes), Tomsk, 2002, 230 p.
25. Perpelova L.I., *Pchelovodstvo: ra-boty soveshh. pri Vsesojuz. akad. s.-h. nauk im. V.I. Lenina* (Beekeeping: the work of the conference. at the All-Union. Academy of Agricultural Sciences named after V.I. Lenin), Moscow, Leningrad, 1937, pp. 190–192. (In Russ.)
26. Plahova A.A., *Pchelovodstvo*, 2007, No. 1, pp. 48–49. (In Russ.)

Информация об авторах:

А.А. Плахова, доктор биологических наук, профессор
 И.Д. Самсонова, доктор биологических наук, профессор
 С.В. Баталова, кандидат биологических наук, доцент

Contribution of the authors:

A.A. Plakhova, Doctor of Biological Sciences, Professor
 I.D. Samsonova, Doctor of Biological Sciences, Professor
 S.V. Batalova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВЛЕНИЯ МУКИ ИЗ СВЕРЧКА ДОМАШНЕГО (*ACHETA DOMESTICUS*) НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ОВСЯНОГО ПЕЧЕНЬЯ

¹М.А. Полубесова, ¹Е.В. Мечтаева, ²А.Д. Чернов, ¹К.Г. Кузнецова, ¹А.З. Журавлева, ¹В.Ю. Ситнов,
³О.А. Кузнецова

¹Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН (ВНИИ пищевых добавок – филиал), Санкт-Петербург, Россия

²Федеральный центр охраны здоровья животных, Санкт-Петербург, Россия

³Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Москва, Россия

Е-mail: m.polubesova@fnpcps.ru

Для цитирования: Влияние добавления муки из сверчка домашнего (*Acheta domestica*) на характеристики овсяного печенья / М.А. Полубесова, Е.В. Мечтаева, А.Д. Чернов, К.Г. Кузнецова, А.З. Журавлева, В.Ю. Ситнов, О.А. Кузнецова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 232–245. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-232-245.

Ключевые слова: съедобные насекомые, мука из насекомых, домашний сверчок, печенье, обогащение продуктов питания.

Реферат. *Растущее население планеты стимулирует поиск альтернативных, богатых белком источников пищи. Благодаря богатому химическому составу, насекомые в последние годы все чаще рассматриваются как перспективный источник белка. Однако их использование в пищевой промышленности на данный момент ограничено. Одним из способов решения данной проблемы является включение насекомых в привычные продукты питания, например, мучные кондитерские изделия. Цель исследования – оценить влияние добавления муки из сверчка домашнего (*Acheta domestica*) на характеристики овсяного печенья. Приготовленные четыре варианта печенья с различными уровнями замены пшеничной и овсяной муки на муку из сверчка домашнего (0, 5, 10, 15 %) оценивались по показателям пищевой ценности, цвета, а также по микробиологическим показателям. Кроме того, в работе проведена дегустация печенья с 10%-й заменой зерновой муки на муку из *Acheta domestica*. В результате исследования выявлено, что в приготовленном печенье при увеличении количества муки из *Acheta domestica* увеличилось количество белка, уменьшилось содержание углеводов. Увеличение экспериментального ингредиента в образцах привело к потемнению изделия. По микробиологическим показателям (КМАФАнМ, БГКП, *Salmonella spp.*, *S. aureus*, дрожжи, плесени) печенье с 15%-м добавлением муки из *Acheta domestica* соответствовало нормативам безопасности Технического регламента Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Согласно результатам проведенной дегустации печенья с добавлением муки из *Acheta domestica*, более 80 % респондентов понравилось приготовленное мучное кондитерское изделие, и они хотели бы снова попробовать продукты, содержащие насекомых в будущем. При этом женщины выразили более негативную оценку приготовленного продукта питания по сравнению с мужчинами. Дальнейшие дегустации и информирование потенциальных потребителей о полезных свойствах продуктов с добавлением насекомых предположительно повысят уровень принятия съедобных насекомых среди людей.*

Финансирование. Статья опубликована в рамках выполнения тем НИР FGUS-2024–0010 и FGUS-2022–0018 государственного задания ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

INFLUENCE OF ADDING CRICKET MEAL (*ACHETA DOMESTICUS*) ON THE CHARACTERISTICS OF OATMEAL COOKIES

¹M.A. Polubesova, ¹E.V. Mechtaeva, ²A.D. Chernov, ¹K.G. Kuznetsova, ¹A.Z. Zhuravleva, ¹V.Yu. Sitnov,
³O.A. Kuznetsova

¹V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS (All-Russia Research Institute for Food Additives – branch), Saint Petersburg, Russia

²Federal Centre for Animal Health, Saint Petersburg, Russia

³V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Moscow, Russia

Е-mail: m.polubesova@fnpcps.ru

Keywords: edible insects, insect meal, house cricket, cookie, food enrichment.

Abstract. *The world's growing population is driving the search for alternative, protein-rich food sources. In recent years insects have increasingly been considered as a promising source of protein due to their rich chemical composition. However, their use in the food industry is currently limited. One way to solve this problem is to include insects in common foods, such as baked goods. The aim of the study is to evaluate the effect of adding house cricket (*Acheta domesticus*) meal on the characteristics of oatmeal cookies. Was prepared 4 versions of cookies with different levels of replacement of wheat and oat flour with house cricket meal (0%, 5%, 10%, 15%) were evaluated for nutritional value, color, and microbiological indicators. In addition, the work included a tasting of cookies with a 10% replacement of grain flour with meal from *Acheta domesticus*. As a result, it was revealed that in the prepared cookies, with an increase in the amount of meal from *Acheta domesticus*, the amount of protein increased and the content of carbohydrates decreased. An increase in the experimental ingredient in the samples caused the product to darken. According to microbiological indicators (total viable count, coliform bacteria, *Salmonella* spp, *S. aureus*, yeast, molds), cookies with 15% addition of meal from *Acheta domesticus* complied with the safety standards of the Technical Regulations of the Customs Union 021/2011 "On food safety". According to the results of a tasting of cookies with the addition of meal from *Acheta domesticus*, more than 80% of respondents liked the prepared bakery product and would like to try products containing insects again in the future. At the same time, women expressed a more negative assessment of the prepared food product compared to men. Further testing and education of potential consumers about the health benefits of insect-infused products is expected to increase acceptance of edible insects among people.*

Рост численности мирового населения и спроса на богатые белком продукты питания приводит к поиску альтернативных источников пищи. Одними из них для добавления в рацион человека являются съедобные насекомые [1]. История употребления насекомых в пищу людьми начинается до появления первого древнего человека [2]. В последние годы отмечается растущий интерес к съедобным насекомым, публикационная активность по тематике применения насекомых в продуктах питания увеличивается [3]. На данный момент около 2 млрд чел., преимущественно из стран Азии, Африки и Латинской Америки, употребляют насекомых в пищу. Выращивание насекомых обладает значительными экономическими и экологическими преимуществами, которые делают их привлекательным направлением для использования в качестве продукта питания. Разведение насекомых требует гораздо меньшего количества воды, земли и корма по сравнению с традиционным животноводством. Кроме того, насекомые оказывают меньшее воздействие на окружающую среду благодаря незначительному объему выбросов парниковых газов относительно крупного рогатого скота.

Согласно Регламенту Комиссии ЕС 2017/2470, домашний сверчок (*Acheta domesticus*, Orthoptera: Gryllidae) с 2022 г. разрешен для использования в составах хлебобулочных и макаронных изделий, супов, соусов, закусок, кондитерских изделий, замороженных кисломолочных продуктов, аналогов мяса и некоторых других пищевых продуктов [4]. Добавление муки из *Acheta domesticus* в состав продуктов питания способствует обогащению их питательной ценности, в частности высококачественным белком. Содержание белка в *Acheta*

domesticus колеблется от 49–68 %, жира 8–29 %, углеводов 11–26 % от сухой массы [5]. Кроме того, домашний сверчок богат ненасыщенными жирными кислотами, а также может быть источником витамина В, минеральных макро- и микроэлементов и пребиотической клетчатки [6].

Несмотря на это, немногие западные потребители готовы добавлять насекомых в свой рацион. Пищевая неофобия, отвращение, опасения по поводу безопасности, а также низкое сенсорное качество являются одними из основных причин отказа от употребления продуктов с добавлением насекомых. Изучение аспектов, связанных с употреблением насекомых в пищу, вызывает небезосновательный интерес и у научного сообщества. Исследователи рассматривают такие вопросы, как: изменение пищевой ценности продуктов при добавлении насекомых, микробиологические показатели продуктов, изменение внешнего вида и вкуса изделий, а также потребительская оценка. Кроме этого, важным вопросом является разработка способов переработки насекомых для получения продукта, отвечающего требованиям безопасности. Микробиологический анализ муки из сверчка домашнего выявил высокое содержание спорообразующих бактерий [7]. Кроме этого, увеличение содержания муки из *Acheta domesticus* в составе печенья приводит к его потемнению, что может негативно сказаться на потребительской оценке продукта [8]. Тем не менее замечено, что потребители более благосклонно реагируют на продукты, когда насекомые не распознаются визуально и когда не изображены на упаковке, что можно в дальнейшем использовать при разработке маркетинговой стратегии. Проведение дегустаций продуктов на основе насекомых может помочь

изменить отношение к энтомофагии в лучшую сторону и сделать продукты с добавлением насекомых более привычными для потребителей.

Цель исследования – оценить влияние добавления муки из сверчка домашнего на характеристики овсяного печенья. В задачи работы входило: приготовление овсяного печенья с частичной заменой пшеничной и овсяной муки на муку из *Acheta domesticus*, оценка его цвета, определение пищевой ценности и микробиологических показателей, а также проведение дегустации печенья с добавлением муки из *Acheta domesticus*.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования являлись образцы овсяного печенья с частичной заменой пшеничной и овсяной муки на муку из *Acheta domesticus*.

В приготовлении образцов овсяного печенья с частичной заменой зерновой муки на муку из сверчка домашнего (*Acheta domesticus*) использо-

вались следующие ингредиенты: мука пшеничная высшего сорта, мука овсяная, вода, разрыхлитель, сахар-песок, сливочное масло (жирность 82,5 %), соль поваренная, ванилин, мука из сверчка домашнего (Bugvita, UK). Было приготовлено четыре варианта печенья с различным содержанием муки из сверчка:

- СМ0% – без добавления муки из сверчка домашнего (*Acheta domesticus*);
- СМ5% – с заменой 5 % пшеничной и овсяной муки на муку из сверчка домашнего (*Acheta domesticus*);
- СМ10% – с заменой 10 % пшеничной и овсяной муки на муку из сверчка домашнего (*Acheta domesticus*);
- СМ15% – с заменой 15 % пшеничной и овсяной муки на муку из сверчка домашнего (*Acheta domesticus*).

Количество ингредиентов для приготовления овсяного печенья указано в табл. 1.

Таблица 1

Количество ингредиентов для приготовления печенья с различным содержанием муки из сверчка домашнего (*Acheta domesticus*)

Amount of ingredients for making cookies with different levels of flour from house cricket (*Acheta domesticus*)

Продукт	Количество, используемое в рецептуре, % от массы			
	СМ0%	СМ5%	СМ10%	СМ15%
Мука пшеничная	21,9	20,6	19,7	18,6
Мука овсяная	21,9	20,6	19,7	18,6
Вода	13,1	14,1	13,1	13,1
Разрыхлитель	0,9	0,8	0,9	0,9
Сахар-песок	24,5	24,2	24,5	24,5
Сливочное масло	17,4	17,2	17,4	17,4
Соль поваренная	0,2	0,2	0,2	0,2
Ванилин	0,1	0,1	0,1	0,1
Мука из <i>Acheta domesticus</i>	0,0	2,2	4,4	6,6

Приготовление печенья с добавлением муки из сверчка домашнего (*Acheta domesticus*) осуществлялось следующим образом. К сливочному маслу комнатной температуры добавляли сахар-песок, перемешивали до однородной массы. Сухие ингредиенты (мука пшеничная и овсяная, разрыхлитель, ванилин, соль поваренная и мука из сверчка домашнего) просеивали через сито и смешивали отдельно. В массу из сливочного масла с сахаром добавляли сухие ингредиенты и перемешивали. К полученной массе добавляли воду и перемешивали все ингредиенты до однородности массы. Далее тесту давали отдохнуть 15 мин под

пищевой пленкой. Затем из теста формировалось круглое печенье диаметром $5,0 \pm 0,3$ см и высотой $0,6 \pm 0,1$ см, которое в дальнейшем помещалось на противень и выпекалось в предварительно разогретой духовке при температуре 180 ± 2 °С в течение 20 мин.

Для оценки цвета продуктов получены фотографические изображения изделий с различным содержанием муки из сверчка. Фотографирование осуществлялось в фотобоксе Grifon LED 440 (цветовая температура 5400К, яркость 5000) при максимальной интенсивности освещения. Характеристики цвета продукта оценивались

в соответствии с методом, описанным в работе [9]. L^* (lightness), a^* (redness), b^* (yellowness) показатели были определены с использованием программного обеспечения Adobe Photoshop CS6. Для каждого исследованного содержания муки из сверчка в печенье анализировалось по три фотографии, на каждой фотографии показатели L^* , a^* , b^* определялись в десяти различных точках, выбранных случайно на поверхности изделия. Далее значения L^* , a^* и b^* для определенного содержания муки из сверчка усреднялись по всем тридцати полученным точкам.

Показатель ΔE_{lab} (степень изменения цвета) определяли согласно следующей формуле [10]:

$$\Delta E_{Lab} = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}, \quad (1)$$

где ΔL^* – разность между lightness анализируемого печенья и контрольного;

Δa^* – разность между redness анализируемого печенья и контрольного;

Δb^* – разность между yellowness анализируемого печенья и контрольного.

Насыщенность Ch определяли по следующей формуле [11]

$$Ch = (a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

Оттенок H определяли по формуле

$$H = \text{ArcTg}\left(\frac{b^*}{a^*}\right). \quad (3)$$

Индекс потемнения BI определяли по формулам (4) и (5):

$$BI = \frac{|100 \cdot (x - 0,31)|}{0,17}, \quad (4)$$

$$x = \frac{(a^* + 1,75L^*)}{(5,654L^* + a^* - 3,012b^*)}. \quad (5)$$

Показатели пищевой ценности образцов печенья определялись сразу после выпечки в соответствии со стандартными методиками (табл. 2). Содержание углеводов определялось «по разности» в соответствии с уравнением

$$\text{Углеводы (\%)} = 100 - \text{Белок (\%)} - \text{Жир (\%)} - \text{Зола (\%)} - \text{Влага (\%)}. \quad (6)$$

Таблица 2

Перечень показателей пищевой ценности, микробиологических показателей и методов исследования печенья
List of nutritional value indicators, microbiological indicators and methods of research of cookies

Показатель	Нормативный документ на метод исследования
<i>Пищевая ценность</i>	
Белок	МУ 1-40/3805-91
Жир	ГОСТ 31902-2012
Сахар	ГОСТ 5903-89 п.3, п.4
Зола	ГОСТ 5901-2014
Влага	ГОСТ 5900-2014
Углеводы	МУ 1-40/3805 п 7.4.5
Пищевая ценность	ТР ТС 022/2011
<i>Микробиологические показатели</i>	
КМАФАнМ	ГОСТ 10444.15-94
Плесени и дрожжи	ГОСТ 10444.12-2013
<i>S. aureus</i>	ГОСТ 31746-2012 (ISO 6888-1:1999, ISO 6888-2:1999, ISO 6888-3:2003)
БГКП	ГОСТ 31747-2012
<i>Salmonella spp.</i>	ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579:2002)

Микробиологические показатели образцов печенья определялись сразу после выпечки в соответствии со стандартными методиками (см. табл. 2).

Проведенная дегустация печенья с 10%-м добавлением муки из сверчка домашнего (*Acheta domestica*) охватила 41 участника. Участники

дегустации были заранее проинформированы о том, что печенье, которое они будут пробовать, содержит муку из сверчка домашнего (*Acheta domestica*). Кроме того, участники также были осведомлены о возможности возникновения аллергической реакции на насекомых у людей, склонных к аллергии на ракообразных и пылевых клещей.

Во время дегустации участникам предложили принять участие в опросе. Он включал в себя вопросы:

- *Ваш пол* с вариантами ответа: “Мужской” и “Женский”;
- *Ваш возраст* с вариантами ответа: “<18”, “18–35”, “35–55”, “>56”;
- *“Как вы относитесь к употреблению насекомых в пищу?”* с вариантами ответа: “Положительно”, “Скорее положительно”, “Нейтрально”, “Скорее отрицательно”, “Отрицательно”;

• *“Понравилось ли вам печенье с добавлением муки из насекомых?”* с вариантами ответа: “Да”, “Затрудняюсь ответить” и “Нет”;

• *“Хотели бы вы попробовать снова продукты с добавлением муки из насекомых?”* с вариантами ответа: “Да”, “Затрудняюсь ответить” и “Нет”.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показатели цвета. Цвет продукта оказывает значительное влияние на восприятие изделия потенциальными потребителями: он может как увеличить намерение покупки, так и, напротив, вызвать негативную реакцию. Фотографические изображения приготовленного овсяного печенья с различным содержанием муки из сверчка домашнего (*Acheta domestica*) приведены на рис. 1.

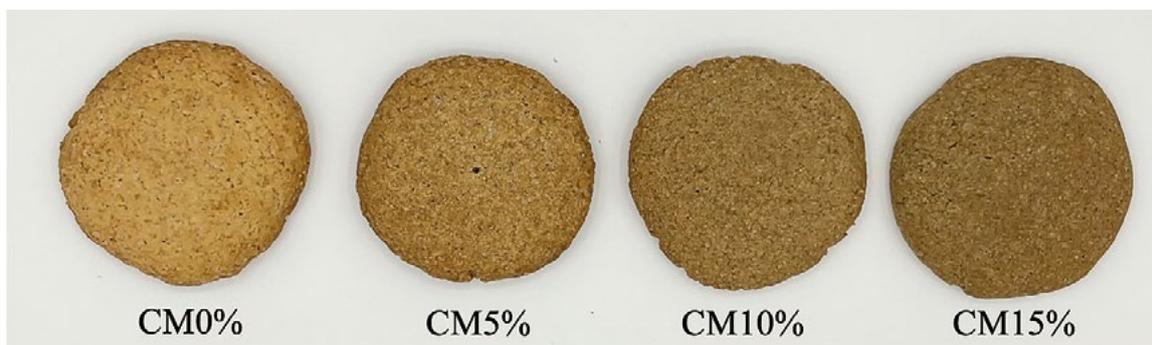


Рис. 1. Фотографические изображения овсяного печенья с различным содержанием муки из сверчка домашнего (*Acheta domestica*)

Photographic images of oatmeal cookies with varying levels of house cricket (*Acheta domestica*) flour

Добавление муки из *Acheta domestica* в рецептуру овсяного печенья привело к потемнению изделия (табл. 3). Оценка показателей цвета изображений приготовленного печенья, L^* (lightness), a^* (redness), b^* (yellowness), выявила уменьшение L^* , a^* и b^* при увеличении содержания муки из сверчка домашнего. При этом замечено, что уменьшение L^* в образце с 10%-м добавлением муки из *Acheta domestica* по сравнению с 5%-м оказалось наименьшим (на 7,2 %) относительно других смежных между собой значений. Полученный результат частично согласуется с другими работами, в которых оценивалось влияние добавления муки из сверчка домашнего на показатели цвета печенья. При увеличении количества муки из сверчка домашнего от 0 до 10 % вместо пшеничной муки значения L^* , a^* и b^* также снизились [12]. В работе [8], при оценке влияния замены овсяной муки на

муку из сверчка домашнего в составе печенья авторы пришли к аналогичному результату, за исключением увеличивающегося показателя a^* . Увеличение a^* свидетельствует о том, что оттенок мучного кондитерского изделия стал более красным. Включение в состав печенья других насекомых, термитов (*Macrotermes bellisicosus*), привело не только к увеличению a^* , но и к увеличению b^* [13]. Во всех рассматриваемых выше исследованиях добавление муки из насекомых привело к значительному потемнению продукта.

Показатель ΔE_{lab} характеризует степень отличия цвета изделия от контрольного, изменение считается значительным при $\Delta E_{lab} > 3$ [10]. Согласно полученным данным, чем выше содержание муки из сверчка домашнего в изделии, тем сильнее изменяется его цвет, а также уменьшается насыщенность цвета Ch , т. е. изделие становится

более бледным. Аналогичный результат наблюдается и в работе R.S. Aleman и J. Marcia [12].

Оттенок H печенья практически не менялся за исключением образца с 15%-м добавлением муки из сверчка домашнего, в котором значение показателя уменьшилось.

Индекс потемнения BI печенья увеличился с 119,71 в контрольном образце до 147,31 в образце с 15%-м добавлением муки из *Acheta domestica*

(на 23 %), что также доказывает существенное потемнение приготовленного печенья. В литературе присутствуют сведения, что потемнение изделия способно негативно сказаться на потребительской оценке продукта [8]. Несмотря на это качественная упаковка и хороший вкус изделия предположительно способны минимизировать возможное негативное воздействие фактора темного цвета.

Таблица 3

Показатели L^* , a^* , b^* , ΔE_{lab} , Ch , h , BI печенья с различным содержанием муки из сверчка домашнего (*Acheta domestica*)

L^* , a^* , b^* , ΔE_{lab} , Ch , h , BI indices of cookies with different levels of cricket flour (*Acheta domestica*)

Образец	L^*	a^*	b^*	ΔE_{lab}	Ch	H	BI	Цвет
СМ0%	67,80±1,57	11,63±0,62	46,90±1,12	–	48,32	1,33	119,71	
СМ5%	56,00±2,40	10,47±0,77	41,93±1,46	12,86	43,22	1,33	135,42	
СМ10%	52,47±1,81	9,47±0,49	38,23±0,89	17,75	39,39	1,33	129,65	
СМ15%	47,20±1,52	10,50±0,55	36,93±1,01	22,91	38,40	1,29	147,31	

Таким образом, увеличение содержания муки из сверчка домашнего (*Acheta domestica*) в составе печенья привело к существенному изменению его цвета, а именно потемнению и снижению насыщенности. Согласно литературным данным, такие изменения чаще рассматриваются негативно со стороны потребителей, однако в совокупности с хорошим вкусом могут не оказывать влияния. Поэтому дальнейшие исследования по данному направлению рекомендуется сосредоточить на оценке внешнего вида и вкуса печенья потенциальными потребителями.

Пищевая ценность. Оценка пищевой ценности печенья с добавлением муки из сверчка домашнего включала в себя определение количества белка, жира, углеводов, сахаров, влаги, золы и общей энергетической ценности. Пищевая ценность приготовленного печенья указана в табл. 4. Стоит отметить, что с увеличением доли муки из *Acheta domestica* в рецептуре увеличивалось количество белка. Так, например, в печенье с 15%-м добавлением муки из сверчка количество белка, г/100 г, увеличилось на 48,6 % по сравне-

нию с аналогичным показателем в контрольном образце. Полученный результат согласуется с другими работами, в которых оценивалась пищевая ценность печенья с добавлением муки из *Acheta domestica*. Например, в исследовании [12] замена пшеничной муки мукой из *Acheta domestica* (от 5 до 10 %) в составе печенья с шоколадной крошкой привела к увеличению содержания белка. Более того, в работе [14] замена в составе печенья муки из маниоки, ферментированной *Aspergillus oryzae*, мукой из сверчка домашнего до 36 % привела к аналогичному результату. В литературе отмечается, что добавление в состав мучных кондитерских изделий других насекомых, например, термитов (*Macrotermes bellicosus*) также приводит к обогащению пищевой ценности продукта белком [13]. основополагающим аспектом, определяющим качество белка, является аминокислотный состав. В аминокислотном профиле муки из *Acheta domestica* присутствуют все незаменимые аминокислоты, среди которых больше всего лейцина и лизина. В муке из *Acheta domestica*, аминокислотный профиль которой

определялся в работе [15], содержание восьми из девяти незаменимых аминокислот (исключением являлся метионин) выше, чем количество, рекомендуемое Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН к ежедневному употреблению для взрослых.

Увеличение доли муки из сверчка домашнего в рецептуре печенья не привело к существенным изменениям в количестве жира. В контрольном образце выявлено наибольшее содержание жира по сравнению с другими образцами, а в печенье с 5%-м добавлением муки из сверчка домашнего, напротив, наименьшее. Начиная с 5%-го добавления муки из *Acheta domestica* количество жира начинает немного увеличиваться. Полученный результат частично не согласуется с другими работами, в которых оценивалась пищевая ценность печенья с добавлением муки из *Acheta domestica*. В исследовании [12] отмечено, что при увеличении количества муки из сверчка домашнего до 10 % в печенье количество жира сократилось. В работе [14] содержание жира в печенье практически не менялось, однако при 36%-й замене муки из марики мукой из *Acheta domestica* выявлено наименьшее содержание жира по сравнению с другими уровнями замещения. В работе [8] отмечается, что при увеличении количества муки из

сверчка домашнего количество жира также менялось незначительно (увеличивалось с 23,69 г/100 г в контрольном образце до 24,68 г/100 г в образце с 15 % муки из экспериментального ингредиента). Исходя из вышесказанного, при увеличении включения муки из *Acheta domestica* количество жира может варьироваться: немного увеличиваться, не меняться или сокращаться в зависимости от состава заменяемого ингредиента.

При увеличении содержания муки из сверчка домашнего количество углеводов в печенье стало снижаться с 65,6 г/100 г в контрольном образце до 63,4 г/100 г в образце с 15 %-м добавлением муки из *Acheta domestica* (на 3,4 %), что согласуется с рассмотренными выше работами [8, 12, 14] и объясняется заменой в составе изделия высокоуглеводного ингредиента (зерновой муки), на низкоуглеводную, высокобелковую муку из насекомого.

В проведенном исследовании количество золы в изделиях немного сократилось: с 1,04 г/100г в контрольном образце до 0,96 г/100г в печенье с добавлением 15 % экспериментального ингредиента. Полученный результат согласуется с работой авторов R.S Aleman и J. Marcia, где количество золы также уменьшилось, но не соотносится с исследованием К.О. Otieno и P.S. Muliro.

Таблица 4

Пищевая ценность и микробиологические показатели печенья с различным содержанием муки из сверчка домашнего (*Acheta domestica*)
Nutritional value and microbiological parameters of biscuits with different contents of house cricket flour (*Acheta domestica*)

Показатель	СМ0%	СМ5%	СМ10%	СМ15%
1	2	3	4	5
<i>Пищевая ценность</i>				
Белок, г/100 г	7,36±0,30	8,29±0,30	9,62±0,30	10,94±0,30
Жир, г/100 г	19,2±0,8	17,3±0,8	18,1±0,8	18,7±0,8
Углеводы, г/100 г	65,6	65,5	65,7	63,4
Сахар, г/100 г	32,9±1,0	30,0±1,0	31,9±1,0	31,6±1,0
Влага, г/100 г	6,8±0,4	7,7±0,4	5,6±0,4	6,0±0,4
Зола, г/100 г	1,04	1,21	0,98	0,96
Зола, нерастворимая в HCl, г/100 г	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Энергетическая ценность, ккал	465	451	464	465
<i>Микробиологические показатели</i>				
КМАФАнМ, КОЕ/г	<1,0*10 ¹	–	–	2,0*10 ²
БГКП, в 0,1 г	ND	–	–	ND
<i>Salmonella</i> spp, в 25 г	ND	–	–	ND

1	2	3	4	5
<i>S. aureus</i> , в 0,1 г	ND	–	–	ND
Дрожжи, КОЕ/г	<1,0*10 ¹	–	–	<1,0*10 ¹
Плесени, КОЕ/г	<1,0*10 ¹	–	–	<1,0*10 ¹

ND – не обнаружено.

Таким образом, энергетическая ценность приготовленного печенья практически не изменялась. Включение в состав мучных кондитерских изделий муки из насекомых способствует обогащению их пищевой ценности белком, в состав которого входят незаменимые аминокислоты. Увеличение количества муки из сверчка домашнего в приготовленном печенье на 2,2, 4,4 и 6,6 % привело к повышению количества белка на 12,6, 30,7 и 48,6 % соответственно относительно контрольного образца, что объясняется высоким содержанием белка в самом сверчке.

Микробиологические исследования. Определение микробиологических показателей продукта питания имеет первостепенное значение при общей оценке продукта, поскольку присутствие патогенных микроорганизмов может привести к рискам для здоровья потребителей. Для микробиологических исследований печенья выбран ряд показателей, характеризующих качество и безопасность пищевой продукции: КМАФАнМ, БГКП, *Salmonella spp*, *S. aureus*, дрожжи, плесени. По результатам исследования на выбранные показатели печенье с 15%-м добавлением муки из *Acheta domesticus* соответствует нормативам безопасности Технического регламента Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» [16]. Кроме того, результаты контрольного образца совпадают с результатами печенья с 15%-м добавлением муки из сверчка по показателям БГКП, *Salmonella spp*, *S. aureus*, дрожжи, плесени. КМАФАнМ в образце с 15%-м добавлением муки из сверчка домашнего (*Acheta domesticus*) больше по сравнению с контрольным образцом. Полученные результаты микробиологических исследований печенья отражены в табл. 4.

Количество микробиологических исследований изделий с добавлением муки из сверчка домашнего (*Acheta domesticus*) в настоящее время ограничено. При исследовании хлеба с заменой пшеничной муки на муку из *Acheta domesticus* (10 и 30 %) выявлено отсутствие дрожжей и молочнокислых бактерий. Несмотря на это в приготовленном хлебе присутствовали спорообразующие бактерии: от 3,1 до 3,7 log₁₀ КОЕ/г, в зависимости

от уровня включения (10 и 30 % соответственно) [7]. В работе [17] в приготовленных лепешках с добавлением муки из сверчка домашнего (*Acheta domesticus*) не были обнаружены мезофильные аэробы и презумптивные лактобактерии. Однако наибольшее содержание спорообразующих бактерий выявлено у образцов лепешек с добавлением муки из *Acheta domesticus* по сравнению с образцами, приготовленными без включения данного ингредиента.

Вышеупомянутые работы также исследовали микробиологические показатели муки из *Acheta domesticus*. При микробиологическом исследовании муки из сверчка домашнего [7] авторы А. Osimani и V. Milanović выявили наличие молочнокислых бактерий в количестве 3,86±0,01 log₁₀ КОЕ/г, спорообразующих бактерий – 5,52±0,02 log₁₀ КОЕ/г и дрожжей – <1 log₁₀ КОЕ/г. В исследовании авторов L. Belleggia и R. Foligni при анализе различных видов муки для приготовления лепешек мука из сверчка домашнего показала наибольшее содержание спорообразующих бактерий (3,54±0,10 log₁₀ КОЕ/г) и презумптивных лактобактерий (4,87±0,11 log₁₀ КОЕ/г) по сравнению с другими видами муки [17]. Тем не менее использование различных способов обработки насекомых способствует сокращению микробной нагрузки. В исследовании [18] сушка в духовом шкафу и микроволновая сушка привели к уменьшению количества аэробных бактерий, дрожжей и плесени в муке из *Acheta domesticus* по сравнению с образцами без обработки. Следовательно, существует необходимость тщательного подбора методов и оптимальных параметров обработки насекомых, при которых микробиологические показатели будут находиться в безопасном для человека диапазоне.

Таким образом, приготовленное печенье соответствует нормативам безопасности Технического регламента Таможенного союза 021/2011. Тем не менее оценка безопасности продуктов питания с добавлением насекомых имеет первостепенное значение при разработке, так как необходимо учитывать возможные риски для здоровья потребителей. Исходя из этого, дальнейший поиск

эффективных методов обработки насекомых все еще остается актуальным направлением в исследованиях, связанных с добавлением насекомых в пищевые продукты.

*Дегустация печенья с добавлением муки из *Acheta domesticus**. Согласно опросам, проводимым в различных странах, значительная часть респондентов относится отрицательно к употреблению насекомых в пищу [19, 20]. Новый для многих потребителей продукт вызывает страх и отвращение [21]. При этом участники опросов и дегустаций охотнее пробуют насекомых в составе какой-либо продукции, а не в естественном виде [21, 20]. В работах исследователей отмечается, что потребители в основном могут испытывать страх перед тем, как впервые пробуют новый продукт питания [22]. Кроме этого, существует корреляция между положительной оценкой нового продукта питания при первом употреблении и желанием попробовать его вновь в будущем [20]. Исходя из этого, одним из способов улучшения отношения потребителей к насекомым в качестве продукта питания является добавление его в популярные продукты, имеющие высокие вкусовые качества. К таким продуктам относятся кондитерские и хлебобулочные изделия. Обогащение мучных кондитерских изделий белком, полученным из недорогого экологичного источника, также позволяет повысить пользу от их употребления, увеличивая суточную долю белка, потребляемую человеком, без существенного повышения стоимости изделия. Однако согласно литературным данным при добавлении большого количества муки из насекомых потребительская оценка таких продуктов существенно снижается [23]. Основными причинами этого является ухудшение вкусовых качеств и потемнение изделия [21].

Следовательно, необходимо получить изделие, наиболее привлекательное для потребителя, но при этом сохраняющее полезные качества продуктов с добавлением насекомых.

Добавление муки из *Acheta domesticus* привело к изменению цвета овсяного печенья, однако существенной разницы между образцами СМ5% и СМ10% не наблюдалось. При этом замена 10 % зерновой муки на сверчковую приводила к увеличению содержания белка в изделии на 16 % по сравнению с СМ5% и на 31 % по сравнению с контрольным образцом (СМ0%). Энергетическая ценность образцов с 10%-й и 15%-й заменой зерновой муки на муку из *Acheta domesticus* практически равна. Однако при увеличении содержания до 15 % наблюдается существенное потемнение продукта, что может негативно восприниматься потребителями. Кроме этого, замена более 10 % зерновой муки на муку из насекомых часто приводит к ухудшению вкуса мучных кондитерских изделий, что вызывает значительное снижение потребительских оценок [5]. На основании вышесказанного было решено выбрать образец СМ10 % для проведения дегустации с опросом потенциальных потребителей.

Для потребительской оценки печенья с добавлением 10 % муки из *Acheta domesticus* проведена дегустация, в которой принял участие 41 человек в возрасте 18–55 лет. После того, как участники дегустации попробовали мучное кондитерское изделие, им предложили пройти опрос, направленный на определение общей оценки печенья и желания попробовать продукты с добавлением насекомых снова. Демографический профиль участников дегустации и их отношение к употреблению насекомых отмечены в табл. 5.

Таблица 5

Демографический профиль и отношение к употреблению насекомых в пищу участников дегустации
Demographic profile and attitudes towards insect consumption among tasting participants

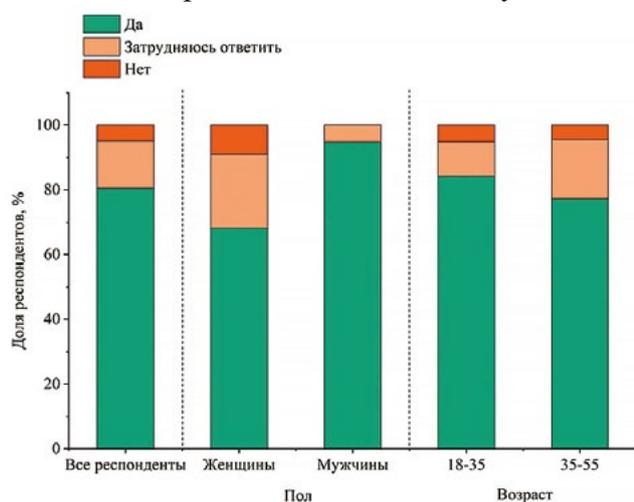
Параметр	Ответ	Количество, чел.	%
1	2	3	4
Пол	Женский	22	54
	Мужской	19	46
Возрастная группа	18–35	19	46
	35–55	22	54

1	2	3	4
Отношение к употреблению насекомых в пищу	Положительно	5	12
	Скорее положительно	9	22
	Нейтрально	23	56
	Скорее отрицательно	3	7
	Отрицательно	1	2

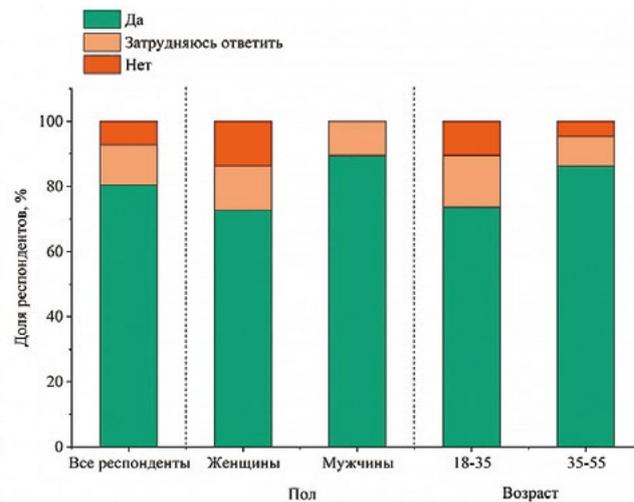
Как видно из таблицы, большая часть опрошенных (56 %) относится к употреблению насекомых нейтрально, при этом 22 % – скорее положительно.

По результатам проведенного опроса большинству респондентов, участвовавших в дегустации, понравилось печенье с добавлением муки из *Acheta domesticus* (80 %) (рис. 2, а). При этом женщины выразили более негативную оцен-

ку приготовленного продукта по сравнению с мужчинами: 9 % женщин ответили, что им не понравилось печенье, в то время, как среди мужчин данной точки зрения не придерживался ни один из опрошенных. Полученный результат согласуется с работой [24], в которой мужчины из США и Испании оценили печенье с шоколадной крошкой с добавлением 15 % муки из сверчка положительнее, чем женщины.



а)



б)

Рис. 2. Ответы респондентов на вопросы “Понравилось ли вам печенье с добавлением муки из насекомых?” – а и “Хотели бы вы попробовать снова продукты с добавлением муки из насекомых?” – б

Respondents’ answers to the questions “Did you like the cookies with added insect flour?” – а and “Would you like to try products with added insect flour again?” – б

Большинство респондентов (80 %), участвовавших в дегустации, положительно ответили на вопрос о том хотели бы они попробовать снова продукты с добавлением муки из насекомых (рис. 2, б). При этом доля мужчин, готовых в будущем попробовать продукты с добавлением муки из насекомых, оказалась больше, чем женщин (89 и 73 % соответственно). Проведение дегустаций может положительно повлиять на готовность людей к употреблению насекомых в будущем. Например, в исследовании [25] доля участников дегустации печенья с добавлением 10 % муки из сверчка домашнего, которая была бы готова

попробовать других насекомых в продуктах питания, также оказалась высокой и составила 74 %. Стоит отметить, что доля положительно настроенных мужчин оказалась больше, чем женщин (86 и 64 % соответственно), что согласуется с текущим исследованием. Литературные данные свидетельствуют о том, что даже визуальная презентация продуктов питания с добавлением насекомых может положительно повлиять на готовность к употреблению насекомых. Например, в работе [26] при реальной демонстрации потребителям для визуальной оценки печенья, содержащего муку из сверчка домашнего (*Acheta domesticus*),

готовность к употреблению данного продукта, принятие и намерение покупки увеличились.

Как видно, участники дегустации в возрасте 18–35 лет лучше оценили приготовленное печенье с добавлением муки из *Acheta domesticus*, чем респонденты возраста 35–55 (см. рис. 2, а). С другой стороны, среди участников дегустации, готовых попробовать продукты с добавлением насекомых снова, доля респондентов в возрасте 35–55 лет оказалась больше, чем в возрасте 18–35 (см. рис. 2, б). Полученный результат можно предположительно объяснить тем, что несмотря на то, что возрастной группе 35–55 лет приготовленное мучное кондитерское изделие понравилось меньше, к другим продуктам с добавлением насекомых они относятся лояльнее. Мнения по поводу зависимости отношения к продуктам с добавлением насекомых и возраста в научной литературе расходятся. С одной стороны, согласно данным [27], пробовать альтернативные продукты питания с добавлением насекомых склонны скорее молодые люди. Однако, согласно бельгийскому исследованию [20], люди более старшего возраста менее неохотно и в большей степени готовы пробовать продукты с добавлением данного ингредиента.

Таким образом, большинство респондентов положительно оценили печенье с добавлением муки из *Acheta domesticus*. Более того, более 80 % опрошенных согласились попробовать продукты с добавлением насекомых снова. Таким образом, можно предположить, что готовность попробовать продукты с добавлением насекомых можно увеличить еще больше. В частности, предоставление информации потребителям о потенциальном благоприятном воздействии насекомых на здоровье увеличивает возможность покупки продуктов с добавлением насекомых [13].

ВЫВОДЫ

1. Мука из сверчка домашнего (*Acheta domesticus*) представляет собой богатый белком ингредиент, который может быть использован

для повышения пищевой ценности продуктов питания. Увеличение содержания муки из сверчка домашнего (*Acheta domesticus*) в составе овсяного печенья привело к увеличению количества белка и сокращению количества углеводов. Печенье с 15%-м добавлением муки из *Acheta domesticus* соответствовало нормативам безопасности Технического регламента Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» по показателям КМАФАнМ, БГКП, *Salmonella spp.*, *S. aureus*, дрожжи, плесени. Тем не менее в данный момент количество исследований безопасности изделий с добавлением *Acheta domesticus* ограничено. В дальнейших исследованиях, связанных с включением насекомых в состав продуктов питания, рекомендуется уделять особое внимание этому вопросу. Исследования безопасности продуктов с добавлением насекомых и информирование потребителей о результатах таких исследований способно существенно повысить их желание употреблять изделия, содержащие насекомых и продукты их переработки.

2. По результатам проведенной дегустации, большинство участников (>80 %) положительно оценили печенье с 10%-м включением муки из *Acheta domesticus*. Несмотря на это, обнаружено, что приготовленное овсяное печенье женщины оценили хуже, чем мужчины. Дальнейшие дегустации и предоставление потенциальным потребителям информации о пользе продуктов с добавлением насекомых предположительно будут способствовать большему принятию съедобных насекомых со стороны потребителей. Кроме того, увеличение содержания экспериментального ингредиента привело к потемнению изделия, что потенциально может негативно сказаться на потребительской оценке изделия. Поэтому в будущем необходимы более детальные исследования восприятия потребителями вкуса и внешнего вида мучных кондитерских изделий с добавлением насекомых и определение корреляции между этими параметрами и общей потребительской оценкой изделия и желанием употреблять его в дальнейшем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Benefits and Challenges in the Incorporation of Insects in Food Products* / B.A. Acosta-Estrada, A. Reyes, C.M. Rosell [et al.] // *Frontiers in nutrition*. – 2021. – № 8. – P. 1–21. – DOI: 10.3389/fnut.2021.687712.
2. *Liceaga A.M.* Edible insects, a valuable protein source from ancient to modern times // *Advances in food and nutrition research*. – Academic Press. – 2022. – № 10. – P. 129–152.
3. *Van Huis A.* Edible insects: Challenges and prospects // *Entomological Research*. – 2022. – № 52(4). – P. 161–177. – DOI: 10.1111/1748-5967.12582.

4. *Document 32022R0188. Commission Implementing Regulation (EU) 2022/188 of 10 February 2022 authorising the placing on the market of frozen, dried and powder forms of Acheta domesticus as a novel food under Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council, and amending Commission Implementing Regulation (EU) 2017/2470 (Text with EEA relevance) C/2022/695 OJ L 30, February 11 2022. – P. 108–113.*
5. *Edible insect powder for enrichment of bakery products – A review of nutritional, physical characteristics and acceptability of bakery products to consumers / I. Amoah, J.C. Cobbinah, J.A. Yeboah [et.al.] // Future Foods. – 2023. – № 8. – P. 1–18. – DOI: 10.1016/j.fufo.2023.100251.*
6. *House cricket (Acheta domesticus): A review based on its nutritional composition, quality, and potential uses in the food industry / G. Pilco-Romero, A.M. Chisaguano-Tonato, M.E. Herrera-Fontana [et.al.] // Trends in Food Science & Technology. – 2023. – № 142. – Article 104226. – DOI: 10.1016/j.tifs.2023.104226.*
7. *Bread enriched with cricket powder (Acheta domesticus): A technological, microbiological and nutritional evaluation / A. Osimani, V. Milanović, F. Cardinali [et.al.] // Innovative food science & emerging technologies. – 2018. – № 48. – P. 150–163. – DOI: 10.1016/j.ifset.2018.06.007.*
8. *Cricket-Enriched Oat Biscuit: Technological Analysis and Sensory Evaluation / B. Biró, M.A. Sipos, A. Kovács [et. al.] // Foods. – 2020. – № 9. – P. 1–17. – DOI: 10.3390/foods9111561.*
9. *Shelf life extension of veal meat by edible coating incorporated with Zataria multiflora essential oil / H. Lashkari, M. Halabinejad, A. Rafati, A. Namdar // Journal of Food Quality. – 2020. – № 1. – P. 1–8. – DOI: 10.1155/2020/8871857.*
10. *Effect of pre-treatment and drying method on physico-chemical properties and dry fractionation behaviour of mealworm larvae (Tenebrio molitor L.) / B. Purschke, H. Brügggen, R. Scheibelberger, H. Jäger // European Food Research and Technology. – 2018. – № 244(2). – P. 269–280. – DOI: 10.1007/s00217-017-2953-8.*
11. *Maskan M. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying // Journal of Food Engineering. – 2001. – № 48(2). – P. 169–175. – DOI: 10.1016/S0260-8774(00)00154-0.*
12. *Formulation of Protein-Rich Chocolate Chip Cookies Using Cricket (Acheta domesticus) Powder / R.S. Aleman, J. Marcia, S.K. Pournaki [et. al.] // Foods. – 2022. – № 11. – P. 1–18. – DOI: 10.3390/foods11203275.*
13. *Awobusuyi T.D., Siwela M., Pillay K. Sorghum–insect composites for healthier cookies: nutritional, functional, and technological evaluation // Foods. – 2020. – № 9(10). – P. 1–15. – DOI: 10.3390/foods9101427.*
14. *Otieno K.O., Muliro P.S., Omwamba M.N. Nutrient composition of biscuits containing fermented cassava and cricket flour // East African Agricultural and Forestry Journal. – 2021. – № 85. – P. 40–47.*
15. *Characterization of protein in cricket (Acheta domesticus), locust (Locusta migratoria), and silk worm pupae (Bombyx mori) insect powders / E.N. Brogan, Y.L. Park, K.E. Matak, J. Jaczynski // LWT. – 2021. – № 152. – P. 1–7. – DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112314.*
16. *Технический регламент Таможенного союза (ТР ТС 021/2011) «О безопасности пищевой продукции».*
17. *Morphotextural, microbiological, and volatile characterization of flatbread containing cricket (Acheta domesticus) powder and buckwheat (Fagopyrum esculentum) flour / L. Belleghia, R. Foligni, I. Ferrocino [et al.] // European Food Research and Technology. – 2023. – № 249(11). – P. 2777–2795. – DOI: 10.1007/s00217-023-04327-5.*
18. *Effects of microwave and hot air oven drying on the nutritional, microbiological load, and color parameters of the house crickets (Acheta domesticus) / M. Bawa, S. Songsermpong, C. Kaewtapee, W. Chanput // Journal of Food Processing and Preservation. – 2020. – № 44(5). – P. 1–12. – DOI: 10.1111/jfpp.14407.*
19. *Полубесова М.А., Новикова (Захарова) М.В., Рябухин Д.С. Энтомофагия: безопасно ли употреблять в пищу насекомых? // ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ. – 2022. – № 5(1). – С. 70–76. – DOI: 10.21323/2618-9771-2022-5-1-70-76.*
20. *Edible insects acceptance by Belgian consumers: promising attitude for entomophagy development / R. Caparros Megido, L. Sablon, M. Geuens [et al.] // Journal of Sensory Studies. – 2014. – № 29(1). – P. 14–20. – DOI: 10.1111/joss.12077.*
21. *Ardoin R., Prinyawiwatkul W. Consumer perceptions of insect consumption: A review of western research since 2015 // International Journal of Food Science & Technology. – 2021. – № 56(10). – P. 4942–4958. – DOI: 10.1111/IJFS.15167.*
22. *Mishyna M., Chen J., Benjamin O. Sensory attributes of edible insects and insect-based foods–Future outlooks for enhancing consumer appeal // Trends in Food Science & Technology. – 2020. – № 95. – P. 141–148. – DOI: 10.1016/j.tifs.2019.11.016.*
23. *Effect of Partial Substitution of Flour with Mealworm (Tenebrio molitor L.) Powder on Dough and Biscuit Properties / X. Xie, Z. Yuan, K. Fu [et al.] // Foods. – 2022. – № 11. – P. 1–13. – DOI: 10.3390/foods11142156.*
24. *Consumer acceptability in the USA, Mexico, and Spain of chocolate chip cookies made with partial insect powder replacement / M. Castro Delgado, IV.E. Chambers, A. Carbonell-Barrachina [et. al.] // Journal of Food Science. – 2020. – № 85(6). – P. 1621–1628. – DOI: 10.1111/1750-3841.15175.*
25. *Sogari G., Menozzi D., Mora C. Exploring young foodies' knowledge and attitude regarding entomophagy: A qualitative study in Italy // International Journal of Gastronomy and Food Science. – 2017. – № 7. – P. 16–19. – DOI: 10.1016/j.ijgfs.2016.12.002.*
26. *The Impact of Information Presentation on Consumer Perceptions of Cricket-Containing Chocolate Chip Cookies / Y. Gao, P. Chonpracha, B. Li [et. al.] // Foods. – 2024. – № 13. – P. 1–14. – DOI: 10.3390/foods13030479.*

27. New sustainable protein sources: consumers' willingness to adopt insects as feed and food / M. Laureati, C. Proserpio, C. Jucker, S. Savoldelli // *Italian Journal of Food Science*. – 2016. – № 28(4). – P. 652–668. – DOI: 10.14674/1120-1770/ijfs.v476.

REFERENCES

- Acosta-Estrada B.A., Reyes A., Rosell C.M., Rodrigo D., Ibarra-Herrera C.C., Benefits and Challenges in the Incorporation of Insects in Food Products, *Frontiers in nutrition*, 2021, No. 8, pp. 1–21, DOI: 10.3389/fnut.2021.687712.
- Liceaga A.M., Edible insects, a valuable protein source from ancient to modern times, *Advances in food and nutrition research*. Academic Press, 2022, No. 10, pp. 129–152.
- Van Huis A., Edible insects: Challenges and prospects, *Entomological Research*, 2022, No. 52(4), pp. 161–177, DOI: 10.1111/1748-5967.12582.
- Document 32022R0188. Commission Implementing Regulation (EU) 2022/188 of 10 February 2022 authorising the placing on the market of frozen, dried and powder forms of *Acheta domesticus* as a novel food under Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council, and amending Commission Implementing Regulation (EU) 2017/2470 (Text with EEA relevance) C/2022/695 OJ L 30, February 11 2022, pp. 108–113.
- Amoah I., Cobbinah J.C., Yeboah J.A. et al., Edible insect powder for enrichment of bakery products – A review of nutritional, physical characteristics and acceptability of bakery products to consumers, *Future Foods*, 2023, No. 8, pp. 1–18, DOI: 10.1016/j.fufo.2023.100251.
- Pilco-Romero G., Chisaguano-Tonato A.M., Herrera-Fontana M.E., et al., House cricket (*Acheta domesticus*): A review based on its nutritional composition, quality, and potential uses in the food industry, *Trends in Food Science & Technology*, 2023, No. 142, Article 104226, DOI: 10.1016/j.tifs.2023.104226.
- Osimani A., Milanović V., Cardinali F. et al., Bread enriched with cricket powder (*Acheta domesticus*): A technological, microbiological and nutritional evaluation, *Innovative food science & emerging technologies*, 2018, No. 48, pp. 150–163, DOI: 10.1016/j.ifset.2018.06.007.
- Biró B., Sipos M.A., Kovács A. et al., Cricket-Enriched Oat Biscuit: Technological Analysis and Sensory Evaluation, *Foods*, 2020, No. 9, pp. 1–17, DOI: 10.3390/foods9111561.
- Lashkari H., Halabinejad M., Rafati A., Namdar A., Shelf life extension of veal meat by edible coating incorporated with *Zataria multiflora* essential oil, *Journal of Food Quality*, 2020, No. 1, pp. 1–8, DOI: 10.1155/2020/8871857.
- Purschke B., Brügggen H., Scheibelberger R., Jäger H., Effect of pre-treatment and drying method on physico-chemical properties and dry fractionation behaviour of mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.), *European Food Research and Technology*, 2018, No. 244(2), pp. 269–280, DOI: 10.1007/s00217-017-2953-8.
- Maskan M., Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying, *Journal of Food Engineering*, 2001, No. 48(2), pp. 169–175, DOI: 10.1016/S0260-8774(00)00154-0.
- Aleman R.S., Marcia J., Pournaki S.K. et al., Formulation of Protein-Rich Chocolate Chip Cookies Using Cricket (*Acheta domesticus*) Powder, *Food*, 2022, No. 11, pp. 1–18, DOI: 10.3390/foods11203275.
- Awobusuyi T.D., Siwela M., Pillay K., Sorghum–insect composites for healthier cookies: nutritional, functional, and technological evaluation, *Foods*, 2020, No. 9(10), pp. 1–15, DOI: 10.3390/foods9101427.
- Otieno K.O., Muliro P.S., Omwamba M.N., Nutrient composition of biscuits containing fermented cassava and cricket flour, *East African Agricultural and Forestry Journal*, 2021, No. 85, pp. 40–47.
- Brogan E.N., Park Y.L., Matak K.E., Jaczynski J., Characterization of protein in cricket (*Acheta domesticus*), locust (*Locusta migratoria*), and silk worm pupae (*Bombyx mori*) insect powders, *LWT*, 2021, No. 152, pp. 1–7, DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112314.
- Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza (TR TS 021/2011) «O bezopasnosti pishchevoi produktsii». (In Russ.).
- Belleggia L., Foligni R., Ferrocino I. et al., Morphotextural, microbiological, and volatile characterization of flatbread containing cricket (*Acheta domesticus*) powder and buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) flour, *European Food Research and Technology*, 2023, No. 249(11), pp. 2777–2795, DOI: 10.1007/s00217-023-04327-5.
- Bawa M., Songsermpong S., Kaewtapee C., Chanput W., Effects of microwave and hot air oven drying on the nutritional, microbiological load, and color parameters of the house crickets (*Acheta domesticus*), *Journal of Food Processing and Preservation*, 2020, No. 44(5), pp. 1–12, DOI: 10.1111/jfpp.14407.
- Polubesova M.A., Novikova (Zakharova) M.V., Ryabukhin D.S., *Pishchevye sistemy*, 2022, No. 5(1), pp. 70–76, DOI: 10.21323/2618-9771-2022-5-1-70-76. (In Russ.).
- Caparros Megido R., Sablon L., Geuens M., Brostaux Y., Alabi T., Edible insects acceptance by Belgian consumers: promising attitude for entomophagy development, *Journal of Sensory Studies*, 2014, No. 29(1), pp. 14–20, DOI: 10.1111/joss.12077.
- Ardoin R., Prinyawiwatkul W., Consumer perceptions of insect consumption: A review of western research since 2015, *International Journal of Food Science & Technology*, 2021, No. 56(10), pp. 4942–4958, DOI: 10.1111/IJFS.15167.

22. Mishyna M., Chen J., Benjamin O., Sensory attributes of edible insects and insect-based foods–Future outlooks for enhancing consumer appeal, *Trends in Food Science & Technology*, 2020, No. 95, pp. 141–148, DOI: 10.1016/j.tifs.2019.11.016.
23. Xie X., Yuan Z., Fu K., An J., Deng L., Effect of Partial Substitution of Flour with Mealworm (*Tenebrio molitor* L.) Powder on Dough and Biscuit Properties, *Foods*, 2022, No. 11, pp. 1–13, DOI: 10.3390/foods11142156.
24. Castro Delgado M., Chambers IV E., Carbonell-Barrachina A. et al. Consumer acceptability in the USA, Mexico, and Spain of chocolate chip cookies made with partial insect powder replacement, *Journal of Food Science*, 2020, No. 85(6), pp. 1621–1628, DOI: 10.1111/1750-3841.15175.
25. Sogari G., Menozzi D., Mora C., Exploring young foodies' knowledge and attitude regarding entomophagy: A qualitative study in Italy, *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2017, No. 7, pp. 16–19, DOI: 10.1016/j.ijgfs.2016.12.002.
26. Gao Y., Chonpracha P., Li B., Ardoin R., Prinyawiwatkul W., The Impact of Information Presentation on Consumer Perceptions of Cricket-Containing Chocolate Chip Cookies, *Foods*, 2024, No. 13, pp. 1–14, DOI: 10.3390/foods13030479.
27. Laureati M., Proserpio C., Jucker C., Savoldelli S., New sustainable protein sources: consumers' willingness to adopt insects as feed and food, *Italian Journal of Food Science*, 2016, No. 28(4), pp. 652–668, DOI: 10.14674/1120-1770/ijfs.v476.

Информация об авторах:

М.А. Полубесова, специалист по маркетингу Всероссийского НИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Е.В. Мечтаева, младший научный сотрудник Всероссийского НИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

А.Д. Чернов, заместитель руководителя Северо-Западной испытательной лаборатории, ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» (ФГБУ «ВНИИЗЖ»)

К.Г. Кузнецова, младший научный сотрудник Всероссийского НИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

А.З. Журавлева, кандидат ветеринарных наук, заместитель директора по качеству Всероссийского НИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

В.Ю. Ситнов, директор Всероссийского НИИ пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

О.А. Кузнецова, доктор технических наук, директор ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Contribution of the authors:

M.A. Polubesova, Marketing specialist (All-Russia Research Institute for Food Additives – branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS)

E.V. Mechtaeva, Junior Research Fellow (All-Russia Research Institute for Food Additives – branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS)

A.D. Chernov, Deputy Head (Federal Centre for Animal Health (FGBI «ARRIAH»))

K.G. Kuznetsova, Junior Research Fellow (All-Russia Research Institute for Food Additives – branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS)

A.Z. Zhuravleva, PhD in Veterinary Sciences, Deputy Director for Quality (All-Russia Research Institute for Food Additives – branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS)

V.Yu. Sitnov, director (All-Russia Research Institute for Food Additives – branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS)

O.A. Kuznetsova, Doctor of Technical Sciences, Director (V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS)

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОЛШТИНИЗИРОВАННЫХ КОРОВ

О.Л. Хромова, Н.И. Абрамова, М.О. Селимян, Н.В. Зенкова

Вологодский научный центр Российской академии наук, Вологда, Россия

E-mail: sznii@list.ru

Для цитирования: Факторы, влияющие на продолжительность хозяйственного использования голштинизированных коров / О.Л. Хромова, Н.И. Абрамова, М.О. Селимян, Н.В. Зенкова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 246–253. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-75-2-246-253.

Ключевые слова: молочное скотоводство, голштинизированные коровы, влияние, факторы, продолжительность использования.

Реферат. Эффективность молочного скотоводства в значительной степени зависит от интенсивности использования маточного поголовья. При этом большое значение имеет фактор продуктивного долголетия животных, так как он во многом определяет не только экономику производства, но и результативность совершенствования стада. Цель исследования заключалась в изучении влияния генетических и паратипических факторов на признаки, характеризующие продолжительность использования коров в популяции голштинизированного скота черно-пестрой породы в условиях племенных хозяйств Вологодской области. Исследование проводили с использованием базы данных по 15403 коровам, выбывшим в 2021 и 2022 г. Влияние исследуемых факторов на признаки продолжительности использования оценивали на основе дисперсионного и корреляционного анализа. Установлено достоверное влияние генетических факторов бык-отец, степень кровности по голштинской породе, возраст выбытия матери в лактациях; паратипических – возраст 1-го плодотворного осеменения и 1-го отела, удой за 305 дней 1-й лактации коровы, удой за 305 дней 1-й и максимальной лактации матери коровы. Селекционный отбор быков-производителей по признакам продолжительности продуктивного использования дочерей и коров, потенциальных матерей будущих телок по возрасту в лактациях будет способствовать получению животных, генетически предрасположенных к более длительному использованию. Результаты исследования могут быть использованы в селекционно-племенной работе по совершенствованию популяции голштинизированного скота черно-пестрой породы.

FACTORS AFFECTING THE DURATION OF ECONOMIC USE OF HOLSTEIN COWS

O.L. Khromova, N.I. Abramova, M.O. Selimyan, N.V. Zenkova

Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia

E-mail: sznii@list.ru

Keywords: dairy cattle breeding, Holstein cows, influence, factors, duration of use.

Abstract. The effectiveness of dairy cattle breeding largely depends on the intensity of use of breeding stock. At the same time, the factor of productive longevity of animals is of great importance, since it largely determines not only the economics of production, but also the effectiveness of improving the herd. The aim of the study was to study the influence of genetic and paratypical factors on the signs characterizing the duration of use of cows in the population of Holstein cattle of black-and-white breed in the conditions of breeding farms of the Vologda region. The study was conducted using a database of 15403 cows that were retired in 2021 and 2022. The influence of the studied factors on the signs of the duration of use was assessed on the basis of variance and correlation analysis. The reliable influence of genetic factors bull-father; the degree of blood in the Holstein breed, the age of the mother's retirement in lactation; paratypical - the age of the 1st fruitful insemination and the 1st calving, milk yield for 305 days of the 1st lactation of the cow, milk yield for 305 days of the 1st and maximum lactation of the mother cows. Selective selection of breeding bulls based on the duration of productive use of daughters and cows, potential mothers of future heifers, by age in lactation will contribute to obtaining animals genetically predisposed to longer use. The results of the study can be used in breeding and breeding work to improve the population of Holstein cattle of the black-and-white breed.

Современные условия интенсивного ведения молочного скотоводства обуславливают необходимость постоянного совершенствования популяций крупного рогатого скота молочных пород. В Российской Федерации крупный рогатый скот молочного направления продуктивности совершенствуется методом скрещивания с высокопродуктивной голштинской породой. Положительным результатом скрещивания с улучшающей породой в популяциях отечественного молочного скота является повышение генетического потенциала и, как следствие этого, увеличение уровня молочной продуктивности коров [1].

П.Н. Прохоренко и В.В. Лабинов указывают, что на основе голштинизации в стране созданы высокопродуктивные стада, которые по своим показателям находятся на уровне лучших стад европейских стран [2].

Статистические данные ежегодника по племенной работе в молочном скотоводстве РФ за 2023 г. свидетельствуют, что средняя молочная продуктивность коров племенных заводов в Российской Федерации составила 9948 кг молока с массовой долей жира и белка 3,92 и 3,34 % соответственно. По сравнению с 2010 г. в 2023 г. средний удой молочных коров за 305 дней последней законченной лактации вырос на 3821 кг, или на 77,1 %, и составил 8772 кг молока. Численность коров с продуктивностью 10 000 кг молока и более в хозяйствах всех категорий выросла в 28,7 раза, с 10522 голов в 2010 г. до 302449 голов на начало 2024 г. [3].

В то же время по всем молочным породам, которые совершенствовались методом скрещивания с голштинской породой, наблюдается сокращение срока хозяйственного использования животных. Отмечается, что при улучшении генетики отечественных пород за счет крови более продуктивных импортных теряются ценные свойства, изначально характерные для местных животных, такие как технологические качества молока, долголетие, сохранность молодняка [4].

В хозяйствах Российской Федерации возраст коров дойного стада по итогам 2023 г. составляет в среднем 2,39 отела, а возраст выбытия – 3,12 отела меньше, чем было в 2010 г., на 0,49 и 0,48 отела соответственно [3].

Фактор продуктивного долголетия животных в условиях интенсивного ведения молочного скотоводства имеет большое значение, так как во многом определяет не только экономику производства, но и результативность совершенствования стада. Период продуктивного долголетия

коров влияет на размер пожизненного надоя, количественный и качественный рост стада, размер капиталовложений на его формирование и эффективность их использования. Непродолжительный срок хозяйственного использования маточного поголовья замедляет темп обновления стада, интенсивность и качество отбора ремонтного молодняка [5, 6].

По мнению Г.Н. Сердюка, односторонняя селекция на повышение продуктивных признаков молочных коров, без учета здоровья, продуктивного долголетия и воспроизводительной способности, привела к тому, что современный молочный скот, обладая высокой продуктивностью, имеет низкий потенциал защитных сил организма [7, 8].

В.А. Сысуева, Т.Ф. Василенко, Р.В. Русакова отмечают, что в молочных стадах племенных заводов большинство животных не доживают до возраста проявления максимальной молочной продуктивности (4–7-я лактация), что приводит к фактическому отсутствию окупаемости полученным от них молоком затрат на выращивание [9].

Учеными установлено, что для окупаемости затрат на молочное стадо, при ремонте выращенными в хозяйстве нетелями, продолжительность использования коров должна быть не менее трех отелов. Только при условии более длительного хозяйственного использования коров деятельность сельскохозяйственных организаций будет рентабельна [10–12].

Интенсивная селекция на увеличение молочной продуктивности отразилась в ухудшении показателей продуктивного долголетия и воспроизводительной способности в популяциях молочного скота всех стран мира. Ученые Орхусского университета в Дании Н.Н. Kadarmideen, S. Wegmann по результатам исследований популяции швейцарского голштинизированного скота указывают на высокие показатели выбраковки коров. По мнению ученых, ранняя выбраковка животных – это стратегия высокой стоимости, поскольку цена отбракованной коровы, как правило, ниже, чем стоимость выращивания телки [13].

В Финляндии в результате опроса фермеров, занимающихся разведением молочного скота голштинской породы, выявлено, что наиболее предпочтительным признаком при отборе животных является продуктивное долголетие [14].

Исследователи из Германии Н. Martens и С. Vange также отмечают сокращение сроков использования молочного скота. Многие коровы выбывают из стада уже после 2–3 отелов, не дожив

до максимальной продуктивности. Наблюдается снижение средней продолжительности продуктивной жизни коров с 3,5 лактации в 1970 г. до нынешних 2,5–3,0 лактации, в противоположном направлении от увеличения надоев молока [15].

Ученые из Эфиопии Kefena Effa, Diriba Hunde, Molla Shumiye считают, что показатели долголетия, пожизненной продуктивности и выхода телят являются одними из основных интересов специалистов, занимающихся разведением молочного скота [16].

По мнению А.Г. Кудрина, А.С. Литониной, современное молочное скотоводство находится перед сменой приоритетов в его развитии. Если до сих пор главным было повышение молочной продуктивности, то в настоящее время на первый план выходят проблемы продуктивной жизни коров и воспроизводства стада [17].

Исходя из приведенных результатов исследований отечественных и зарубежных ученых, а также данных статистики, следует, что проблема сокращения продуктивного долголетия молочных коров во всем мире приобрела актуальность и остроту.

В связи с этим представляет научный и практический интерес исследование по изучению факторов, влияющих на продолжительность использования животных в популяции молочного скота.

Цель исследования заключалась в изучении влияния генетических и паратипических факторов на признаки продуктивного долголетия коров в популяции голштинизированного крупного рогатого скота черно-пестрой породы в условиях племенных хозяйств Вологодской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование проводили с использованием базы данных по 15403 выбывшим в 2021 и 2022 г. животным популяции голштинизированного скота черно-пестрой породы 31-го племенного хозяйства Вологодской области. Исследовательская база данных сформирована с использованием информационно-аналитической системы «Селэкс–Молочный скот». В исследование включены следующие признаки, характеризующие продолжительность использования животных в стаде: возраст выбытия в лактациях и отелах, продолжительность всей жизни и продуктивного

периода в днях, удой пожизненный, надой на 1 день жизни.

Изучалось влияние генетических и паратипических факторов на данные признаки. В исследование включены генетические факторы: линейная принадлежность животного, генотип по доле крови голштинской породы, бык-отец, возраст выбытия и продолжительность жизни в днях матери. Из паратипических факторов: возраст 1-го осеменения и отела, живая масса при 1-м плодотворном осеменении, первой и максимальной лактациям, продуктивные признаки по 1-й и максимальной лактациям коровы и ее матери, сервис-период в 1-ю и максимальную лактации, продолжительность 1-й и максимальной лактации коровы и ее матери, хозяйство.

Уровень влияния исследуемых факторов оценивали на основе дисперсионного и корреляционного анализа данных. Проведен расчет коэффициентов силы влияния η^2 и корреляции r с использованием пакета анализа Microsoft Excel «Анализ данных».

Коэффициент силы влияния рассчитывали с использованием метода однофакторного дисперсионного анализа по формуле¹

$$\eta^2 = \frac{C_x}{C_y},$$

где C_x – межгрупповая факториальная дисперсия, C_y – общая факториальная дисперсия.

Исследование и обработку данных проводили с применением общенаучных методов: систематизация, статистическая обработка, анализ, табличные и графические приемы визуализации данных с использованием программного обеспечения Microsoft Word, Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние факторов, которые не определяются в количественном выражении, рассчитывали с использованием однофакторного дисперсионного анализа. Этим методом определяли влияние таких факторов, как линейная принадлежность, бык-отец, хозяйство.

По результатам расчета коэффициентов силы влияния определено, что в популяции голштинизированного скота черно-пестрой породы наибольшее достоверное ($P \leq 0,001$) влияние на признаки продуктивного долголетия коров из этих трех факторов имеет «бык-отец» (табл. 1).

¹Плохинский Н.А. Руководство по биометрии для зоотехников. – М., 1969. – 256 с.

Коэффициенты силы влияния η^2 генетических и паратипических факторов на признаки продолжительности использования голштинизированных коров черно-пестрой породы
The coefficients of the influence η^2 of genetic and paratypical factors on the signs of the duration of use of Holstein cows of the black-and-white breed

Фактор	Признаки, характеризующие продолжительность использования коровы					
	Возраст, лакт.	Возраст, отелы	Продолжительность жизни, дни		Надой на 1 день жизни, кг	
			Всей	Продуктивной		
Линия	0,096***	0,098***	0,101***	0,095***	0,053***	0,009***
Бык-отец	0,601***	0,618***	0,666***	0,632***	0,542***	0,404***
Хозяйство	0,035***	0,035***	0,055***	0,047***	0,031***	0,081***

Примечание: критерий достоверности $P \leq 0,001$ ***.

Коэффициент силы влияния данного фактора на признаки продолжительности использования животных составил от 0,601 до 0,666, на пожизненную продуктивность 0,542.

Факторы «линия» и «хозяйство» на признаки продолжительности использования в популяции голштинизированного скота черно-пестрой породы имеют очень слабое влияние. Значение коэффициента силы влияния по фактору «линия» варьирует от 0,095 до 0,101, по фактору «хозяйство» от 0,035 до 0,055. Следовательно, генеалогическая и хозяйственная принадлежность не имеют существенного влияния на длительность использования животного в исследуемой популяции.

С использованием корреляционного анализа установлена высокодостоверная ($P \leq 0,001$) тесная связь ($r = 0,88-0,99$) между признаками, характеризующими продолжительность использования коровы в популяции: пожизненным удоем, возрастом в лактациях и отелах, продолжительностью жизни в днях.

По признаку надой на 1 день жизни, который характеризует эффективность использования коровы в популяции, наблюдается положительная высокодостоверная ($P \leq 0,001$) связь средней силы ($r = 0,61-0,63$) с возрастом в лактациях и отелах, продолжительностью жизни в днях. Следовательно, чем дольше живет корова в стаде, тем больше молока получают от нее на 1 день жизни, соответственно, повышается рентабельность ее использования.

Расчет коэффициентов корреляции позволил выявить, какие из генетических и паратипических факторов достоверно и наиболее тесно связаны с признаками продолжительности использования голштинизированных коров черно-пестрой породы (табл. 2).

Из генетических факторов с возрастом в лактациях и продолжительностью жизни коровы в днях имеют более тесную высокодостоверную связь ($P \leq 0,001$) такие факторы, как доля кровности по голштинской породе ($r = -0,43$) и возраст выбытия матери в лактациях ($r = 0,25$).

Коэффициенты корреляции такого фактора, как доля кровности по голштинской породе с признаками продолжительности использования коров составляют от -0,41 до -0,45, с пожизненным удоем -0,32. Отрицательные значения коэффициентов свидетельствует о том, что животные с низкой долей кровности по голштинской породе и чистокровные черно-пестрые живут в стаде дольше, чем высококровные коровы.

Между фактором возраст выбытия матери в лактациях и аналогичным признаком выбывших коров возраст выбытия в лактациях установлена положительная достоверная корреляция ($r = 0,25$). Соответственно, если принять наследуемость как удвоенный коэффициент корреляции ($h^2 = 2r$), получаем средний уровень наследуемости признаков продолжительности использования по матери ($h^2 = 0,50$). Следовательно, отбор телок для ремонта стада по возрасту матерей в лактациях будет способствовать формированию стада животных, генетически предрасположенных к длительному использованию.

Коэффициенты корреляции r генетических и паратипических факторов с признаками продолжительности использования голштинизированных коров черно-пестрой породы
Correlation coefficients r of genetic and paratypical factors with signs of the duration of use of Holstein cows of the black-and-white breed

Фактор	Возраст в лактациях	Возраст в отелах	Продолжительность жизни в днях	Продолжительность продукт. жизни, дни	Удой пожизненный, кг	Надой на 1 день жизни, кг
Доля кровности по голшт. породе, %	-0,43***	-0,43***	-0,45***	-0,41***	-0,32***	-0,14***
Возраст 1 плодотв.осем., мес.	0,24***	0,24***	0,35***	0,24***	0,18***	0,02*
Живая масса при 1-м плод. осем., кг	-0,12***	-0,12***	-0,07***	-0,12***	-0,10***	-0,12***
Возраст 1 отела, мес.	0,21***	0,22***	0,33***	0,21***	0,16***	0,001
Дойные дни за 1 лактацию	-0,17***	-0,17***	-0,01	0,03***	-0,01	0,01
Дойные дни за макс. лактацию	-0,12***	-0,12***	0,05***	0,10***	0,06***	0,05***
Удой за всю 1-ю лактацию, кг	-0,33***	-0,33***	-0,23***	-0,21***	-0,04***	0,23***
Удой за всю макс. лактацию, кг	0,01	0,01	0,12***	0,16***	0,36***	0,56***
Удой за 305 дней 1-й лакт., кг	-0,34***	-0,34***	-0,32***	-0,31***	-0,05***	0,29***
Удой за 305 дней макс. лакт., кг	0,17***	0,17***	0,19***	0,19***	0,50***	0,71***
Живая масса при 1-й лакт., кг	-0,12***	-0,12***	-0,10***	-0,23***	-0,08***	0,07***
Живая масса при макс. лакт., кг	0,21***	0,21***	0,23***	0,22***	0,29***	0,27***
Сервис период в 1 лактацию	-0,14***	-0,14***	0,01	0,01	-0,01	-0,02
Сервис период в макс. лактацию	-0,08***	-0,08***	0,08***	0,09***	0,05***	0,01
Возраст выбытия матери в лакт.	0,25***	0,25***	0,26***	0,22***	0,20***	0,13***
Продолжит. жизни матери в днях	0,15***	0,15***	0,16***	0,14***	0,13***	0,06***
Дойные дни за 1-ю лакт. матери	-0,04***	-0,04***	-0,02*	-0,02**	-0,01	0,00
Удой за 305 1-й лакт. матери, кг	-0,36***	-0,37***	-0,39***	-0,35***	-0,25***	-0,09***
Возраст матери при макс. лакт.	0,18***	0,18***	0,19***	0,17***	0,15***	0,10***
Удой за 305 дней макс. лакт. матери, кг	-0,32***	-0,32***	-0,34***	-0,30***	-0,19***	-0,03***

Примечание: критерий достоверности: $P \leq 0,05^*$, $P \leq 0,01^{**}$, $P \leq 0,001^{***}$.

Коэффициенты корреляции более 0,20 с признаками возраст выбытия в лактациях и отелах, продолжительность жизни и продуктивного периода получены с паратипическими факторами: возраст 1-го плодотворного осеменения и 1-го отела, удой за 305 дней и за всю 1-ю лактацию, живая масса при максимальной лактации, удой за 305 дней 1-й и максимальной лактации матери.

Положительная высокодостоверная ($P \leq 0,001$) связь признаков продолжительности использования (возраст в лактациях и отелах, продолжительность жизни и продуктивного периода) отмечается с возрастом 1-го плодотворного осеменения и отела ($r = 0,21-0,35$). Следо-

вательно, коровы, которые оплодотворились и отелились в более поздние сроки, используются в стаде дольше. Как правило, это животные с низкой долей кровности по голштинской породе или чистопородные черно-пестрые. Этот факт подтверждает достоверная ($P \leq 0,001$) отрицательная корреляция возраста 1-го плодотворного осеменения ($r = -0,30$) и 1-го отела ($r = -0,28$) с долей кровности по голштинской породе.

Положительная достоверная ($P \leq 0,001$) корреляция выявлена между пожизненным удоем и такими факторами, как удой за всю ($r = 0,36$) и за 305 дней максимальной лактации ($r = 0,50$) выбывших коров. Из чего следует, что животные

с более высокой продуктивностью за максимальную лактацию, соответственно, дают за свою жизнь большее количество молока.

По фактору «удой за 305 дней максимальной лактации» также отмечается положительная достоверная ($P \leq 0,001$) связь слабой силы ($r = 0,17-0,19$) с возрастом в лактациях и отелах, продолжительностью жизни коровы в днях.

Установлена умеренная положительная связь признака надой на 1 день жизни с факторами удой за всю 1-ю ($r = 0,23$) и максимальную ($r = 0,56$) лактации, удой за 305 дней 1-й ($r = 0,29$) и максимальной ($r = 0,71$) лактации.

Фактор «дойные дни за 1-ю лактацию» имеет отрицательную, достоверную ($P \leq 0,001$) связь слабой силы ($r = -0,17$) с такими признаками, как возраст в отелах и лактациях. Это указывает на то, что животные с удлиненной первой лактацией раньше выбывают из стада.

Установлена отрицательная высокодостоверная ($P \leq 0,001$) корреляция ($r = -0,31-0,34$) между признаками продолжительности использования выбывших коров и их удоем за всю и за 305 дней 1-й лактации. Это показывает, что животные, которых интенсивно раздаивали, выбывают из стада раньше, чем коровы с умеренным раздоем. Подтверждается мнение отечественных и зарубежных ученых, что у высокопродуктивных коров перенапряжение организма, вызванное чрезмерной эксплуатацией, сопровождается снижением общей резистентности организма и приводит к сокращению сроков продолжительности использования в стаде [18–20].

Обратная взаимосвязь также выявлена между удоем за 305 дней 1-й и максимальной лактации матерей с признаками выбывших коров: возраст в лактациях и отелах, продолжительность жизни и продуктивного периода. Отрицательная корреляция этих признаков, как показал расчет, обусловлена положительной высокодостоверной ($P \leq 0,001$) связью между молочной продуктивностью дочери и матери. Коэффициент корреляции между удоем дочери и матери за 305 дней 1-й лактации составил $r = 0,43$; за 305 дней 1-й лактации дочери и максимальной лактации матери $r = 0,40$; за 305 дней максимальной лактации дочери и матери $r = 0,24$. Полученные данные свидетельствуют о средней и высокой степени наследуемости уровня молочной продуктивности «дочь – мать» в исследуемой популяции. Соответственно, если между признаками продолжительности использования выбывших коров и их удоем за 305 дней 1-й лактации установлена отрицательная корреляция,

то и с молочной продуктивностью матерей корреляция также отрицательная.

По таким факторам, как живая масса при 1-м плодотворном осеменении, живая масса при 1-й лактации, сервис-период в 1-ю и максимальную лактацию, существенного влияния на признаки продолжительного использования не установлено, коэффициенты корреляции имеют минимальные значения $r = 0,01-0,14$.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований выявлены факторы, имеющие наибольшее достоверное влияние на признаки продолжительности использования животных в популяции голштинизированного крупного рогатого скота черно-пестрой породы. Из генетических факторов к ним относятся бык-отец, степень кровности по голштинской породе, возраст выбытия матери в лактациях. Из паратипических факторов наибольшее влияние оказывают возраст 1-го плодотворного осеменения и 1-го отела, удой за всю и за 305 дней 1-й лактации коровы, удой за 305 дней 1-й и максимальной лактации матери коровы.

2. Селекционный отбор быков-производителей по признакам продолжительности продуктивного использования дочерей будет способствовать получению в популяции животных, обладающих хорошими адаптационными качествами и способностью к длительному использованию.

3. Определена умеренная степень наследуемости признаков продуктивного долголетия по матери коровы. Селекция по возрасту матери позволит получить животных, генетически predisposed к продолжительному использованию в популяции.

4. В популяции голштинизированного скота черно-пестрой породы с увеличением степени кровности по голштинской породе сокращается продолжительность использования животных.

5. Чрезмерная интенсивность раздоя коров в первую лактацию приводит к сокращению как продуктивной, так и всей жизни коровы.

6. Дольше используются в популяции черно-пестрой породы коровы с более поздним сроком оплодотворения и отела.

7. Увеличение продолжительности жизни коровы в стаде способствует повышению рентабельности ее использования, что подтверждается положительной высокодостоверной ($P \leq 0,001$) корреляцией признака «надой на 1 день жизни» с признаками продолжительности использования коров.

8. Полученные результаты исследования послужат для селекционно-племенной работы по совершенствованию популяции крупного рогатого скота черно-пестрой породы, направленной на увеличение продолжительности использования

животных и повышения рентабельности молочного производства.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания по теме № FMGZ-2022–0003.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хромова О.Л., Бургомистрова О.Н. Продолжительность использования коров ярославской породы различных генотипов // *АгроЗооТехника*. – 2019. – Т. 2, № 1. – С. 1–10. – DOI: 10.15838/alt.2019.2.1.2.
2. Прохоренко П.Н., Лабинов В.В. Черно-пестрая порода молочного скота: состояние и направления совершенствования с использованием генофонда голштинской породы // *Молочная промышленность*. – 2015. – № 2. – С. 56–59.
3. *Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2023)* / Изд-во ФГБНУ ВНИИПлем. – М., 2024. – 251 с.
4. Абрамова Н.И., Зенкова Н.В., Селимян М.О. Перспективы развития молочного скотоводства в Вологодской области // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2023. – № 2(67). – С. 133–141. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-133-141.
5. Белова С.Н., Плешаков В.А. Продуктивное долголетие коров в зависимости от способа содержания // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2023. – № 2(67). – С. 142–148. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-142-148.
6. Абрамова Н.И., Бургомистрова О.Н., Хромова О.Л. Взаимосвязь продолжительности использования коров молочных пород с кровностью по голштинской породе // *Зоотехния*. – 2018. – № 1. – С. 12–16.
7. Сердюк Г.Н. Проблема продуктивного долголетия при голштинизации отечественных пород крупного рогатого скота и пути ее решения // *Молочное и мясное скотоводство*. – 2015. – № 6. – С. 7–10.
8. Молочная продуктивность коров красно-пестрой породы с разным продуктивным использованием / А.И. Голубков, Л.В. Ефимова, А.А. Голубков [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2022. – № 4(65). – С. 97–104. – DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-97-104.
9. Сысуйев В.А., Василенко Т.Ф., Русаков Р.В. Проблемы развития молочного животноводства в России и современные подходы их решения // *Достижения науки техники АПК*. – 2017. – № 3. – С. 20–23.
10. Продолжительность продуктивного использования коров разной селекции / Д. Абылкасымов, О.В. Абрампальская, Ю.И. Шмидт, С.В. Чаргеишвили // *Зоотехния*. – 2019. – № 3. – С. 26–30.
11. Влияние породной принадлежности на долголетие и пожизненную продуктивность коров / Д.Н. Кольцов, А.С. Герасимова, О.В. Татуева, Н.С. Петкевич // *Генетика и разведение животных*. – 2020. – № 2. – С. 70–77.
12. Хромова О.Л., Бургомистрова О.Н. Продолжительность лактации и хозяйственного использования высокопродуктивных коров черно-пестрой породы // *АгроЗооТехника*. 2023. – Т. 6, № 2. – С. 1–11. – DOI: 10.15838/alt.2023.6.2.3.
13. Kadarmideen H.N., Wegmann S. Genetic parameters for body condition score and its relationship with type and production traits in Swiss Holsteins // *J. Dairy Sci.* – 2003. – № 86(11). – P. 3685–3693.
14. Farmers' stated selection preferences differ from revealed AI bull selection in Finnish dairy herd / E. Paakala, D. Martín-Collado, F. Mäki-Tanila, J. Jugaa // *Livestock Science*. – 2020. – № 10. – P. 1–9.
15. Martens H., Bange C. Longevity of high producing dairy cows: a case study // *Lohmann Information*. – 2013. – Vol. 48(1). – P. 53–57.
16. Analysis of longevity traits and lifetime productivity of crossbred dairy cows in the Tropical Highlands of Ethiopia / K. Effa [et al.] // *Journal of Cell and Animal Biology*. – 2013. – Vol. 7(11). – P. 138–143.
17. Литонина А.С., Кудрин А.Г. Показатели пожизненного использования коров, происходящих от быков разной селекции // *Молочнохозяйственный вестник*. – 2020. – № 1(37). – С. 60–71.
18. Гавриленко Н.Н. Эксплуатационное бесплодие коров // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. – 2019. – Т. 240, № 4. – С. 41–47.
19. Heinrichs A.J., Heinrichs B.S. Prospective study of calf factors affecting first-lactation and lifetime milk production and age of cows when removed from the herd // *J. Dairy Science*. – 2011. – Vol. 94. – P. 336–341.
20. The genetic structure of longevity in dairy cows / J. Heise, Z. Liu, K.F. Stock [et al.] // *J. Dairy Science*. – 2016. – Vol. 99(2). – P. 1253–1265.

REFERENCES

1. Hromova O.L., Burgomistrova O.N., *AgroZooTehnika*, 2019, T. 2, No. 1, pp. 1–10, DOI: 10.15838/alt.2019.2.1.2. (In Russ.)

2. Prohorenko, P.N., Labinov V.V., *Molochnaja promyshlennost'*, 2015, No. 2, pp. 56–59. (In Russ.)
3. *Ezhegodnik po plemennoj rabote v molochnom skotovodstve v hozjajstvah Rossijskoj Federacii (2023)* (Yearbook on breeding work in dairy cattle breeding in the farms of the Russian Federation (2023)), Moscow: Izd-vo FGBNU VNIIPlem, 2024, 251p.
4. Abramova N.I., Zenkova N.V., Selimjan M.O., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2023, No. 2(67), pp. 133–141, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-133-141. (In Russ.)
5. Belova S.N., Pleshakov V.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2023, No. 2(67), pp. 142–148, DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-142-148. (In Russ.)
6. Abramova N.I., Burgomistrova O.N., Hromova O.L., *Zootehnij*, 2018, No. 1. pp. 12–16. (In Russ.)
7. Serdjuk G.N., *Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo*, 2015, No. 6, pp. 7–10.
8. Golubkov A.I., Efimova L.V., Golubkov A.A., Ermolaev S.V., Sazonova N.M., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2022, No. 4(65), pp. 97–104, DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-97-104. (In Russ.)
9. Sysuev V.A., Vasilenko T.F., Rusakov R.V., *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, 2017, No. 3, pp. 20–23. (In Russ.)
10. Abylkasymov D., Abrampal'skaja O.V., Shmidt Ju.I., Chargeishvili S.V., *Zootehnija*, 2019, No. 3, pp. 26–30. (In Russ.)
11. Kol'cov D.N., Gerasimova A.S., Tatueva O.V., Petkevich N.S., *Genetika i razvedenie zhivotnyh*, 2020, No. 2, pp. 70–77. (In Russ.)
12. Hromova O.L., Burgomistrova O.N., *AgroZooTehnika*, 2023, Vol. 6, No. 2, pp. 1–11, DOI: 10.15838/alt.2023.6.2.3 (In Russ.)
13. Kadarmideen H.N., Wegmann S., Genetic parameters for body condition score and its relationship with type and production traits in Swiss Holsteins, *Journal of Dairy Science*, 2003, No.86 (11), pp. 3685–3693.
14. Paakala E., Martín-Collado D., Mäki-Tanila F., Jugaa J., Farmers' stated selection preferences differ from revealed AI bull selection in Finnish dairy herd, *Livestock Science*, 2020, No. 10, pp. 1–9.
15. Martens H., Bange C., Longevity of high producing dairy cows: a case study, *Lohmann Information*, 2013, Vol. 48(1), pp. 53–57.
16. Effa K., Hunde D., Shumiye M., Silasie R.H., Analysis of longevity traits and lifetime productivity of crossbred dairy cows in the Tropical Highlands of Ethiopia, *Journal of Cell and Animal Biology*, 2013, Vol. 7(11), pp. 138–143.
17. Litonina A.S., Kudrin A.G., *Molochnohozjajstvennyj vestnik*, 2020, No. 1(37), pp. 60–71. (In Russ.)
18. Gavrilenko N.N., *Uchenye zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny im. N.Je. Baumana*, 2019, Vol. 240, No. 4. pp. 41–47. (In Russ.)
19. Heinrichs A.J., Heinrichs B.S., Prospective study of calf factors affecting first-lactation and lifetime milk production and age of cows when removed from the herd, *Journal of Dairy Science*, 2011, Vol. 94, pp. 336–341.
20. Heise J., Liu Z., Stock K.F., Rensing S., Reinhardt F., Simianer H., The genetic structure of longevity in dairy cows, *Journal of Dairy Science*, 2016, Vol. 99(2), pp. 1253–1265.

Информация об авторах:

О.Л. Хромова, старший научный сотрудник

Н.И. Абрамова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

М.О. Селимян, научный сотрудник

Н.В. Зенкова, научный сотрудник

Contribution of the authors:

O.L. Khromova, Senior Researcher

N.I. Abramova, PhD in Agricultural Sciences, Leading Researcher

M.O. Selimyan, Researcher

N.V. Zenkova, Researcher

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕНОТИПОВ ГЕНОВ CSN2/CSN3 НА ХОЗЯЙСТВЕННО ПОЛЕЗНЫЕ ПРИЗНАКИ КОРОВ ХОЛМОГОРСКОЙ ПОРОДЫ**Н.А. Худякова, И.С. Кожевникова, А.О. Ступина, И.А. Классен, М.С. Калмыкова***Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврова РАН, Архангельск, Россия***E-mail:** labinnovrazv@yandex.ru

Для цитирования: Влияние комплексных генотипов генов CSN2/CSN3 на хозяйственно полезные признаки коров холмогорской породы / Н.А. Худякова, И.С. Кожевникова, А.О. Ступина, И.А. Классен, М.С. Калмыкова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 254–262. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-254-262.

Ключевые слова: CSN2, CSN3, холмогорская порода, крупный рогатый скот, молочная продуктивность, комплексные генотипы, аллель A2.

Реферат. Целью работы было выявить влияние комплексных генотипов генов бета-казеина и каппа-казеина на показатели молочной продуктивности коров холмогорской породы. Экстракция ДНК проводилась с помощью набора реагентов «МагноПрайм ВЕТ». Для определения аллельного полиморфизма гена CSN2 использовали аллель-специфичную ПЦР (АС-ПЦР). Определение фрагментов рестрикции ДНК – путем визуализации результатов методом горизонтального электрофореза с 3 % агарозным гелем. Для определения аллелей A и B гена CSN3 был использован полиморфизм длин рестриционных фрагментов (ПЦР–ПДРФ). В ходе молекулярно-генетического анализа животных холмогорской породы был обнаружен полиморфизм генетических вариантов белков бета-казеина (CSN2) и каппа-казеина (CSN3), а также была изучена частота встречаемости различных комплексных генотипов. Самым распространенным комплексным генотипом оказался A1A2/AA, встречающийся у 41,15 % животных, что составляет 158 особей. Наименее распространенными сочетаниями генотипов являлись A1A1/BB и A1A2/BB, общая численность групп составляла 8 голов (менее 2,5 %). Особей с генотипами A2A2/BB не было выявлено. Наилучшие показатели по удою, массовой доли жира, массовой доли белка, количеству молочного жира и количеству молочного белка среди коров-первотелок имели животные с комбинацией генотипов A2A2/AA. Самые низкие показатели по массовой доле белка, количеству молочного жира и количеству молочного белка имели особи с сочетанием генотипов A1A1/AB. Среди всего исследуемого поголовья наилучшим результатом по многим показателям молочной продуктивности обладали коровы с комплексным генотипом A2A2/AA. Научная новизна работы состоит в исследовании связи между комплексными генотипами генов бета-казеина, каппа-казеина и их влияния на молочную продуктивность коров холмогорской породы. На данный момент научных работ, посвященных изучению комплексных генотипов данных генов, крайне мало, а исследований, проведенных на холмогорской породе крупного рогатого скота, нет.

INFLUENCE OF COMPLEX GENOTYPES OF CSN2/CSN3 GENES ON ECONOMICALLY USEFUL TRAITS OF HOLMOGOR COWS**N.A. Khudyakova, I.S. Kozhevnikova, A.O. Stupina, I.A. Klassen, M.S. Kalmykova***Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov, Arkhangelsk, Russia***E-mail:** labinnovrazv@yandex.ru

Keyword: CSN2, CSN3, Kholmogor breed, cattle, milk productivity, complex genotypes, A2 allele

Abstract. Objective. To reveal the influence of complex genotypes of beta-casein and kappa-casein genes on milk productivity indices of Kholmogorsk cows. Methods. DNA extraction was carried out using the reagent kit “MagnoPrime VET”. Allele-specific PCR (AS-PCR) was used to determine allele polymorphism of CSN2 gene. Determination of DNA restriction fragments by visualizing the results by horizontal electrophoresis with 3% agarose gel. Restriction fragment length polymorphism (PCR-PDRF) was used to determine the A and B alleles of the CSN3 gene. Results. In the course of molecular genetic analysis of Kholmogor breed animals, polymorphism of genetic variants of beta-casein (CSN2) and kappa-casein (CSN3) proteins was detected, and the frequency of occurrence of different complex genotypes was studied. The most common complex genotype was found to

be A1A2/AA, occurring in 41.15% of the animals, representing 158 individuals. The least common genotype combinations were A1A1/BB and A1A2/BB with a total number of 8 animals (less than 2.5%). No individuals with A2A2/BB genotypes were found. Animals with a combination of A2A2/AA genotypes had the best milk yield, fat mass fraction, protein mass fraction, milk fat quantity and milk protein quantity among heifer cows. The lowest values for mass fraction of protein, milk fat and milk protein had animals with A1A1/AB genotype combination. Among all the studied herd, cows with complex genotype A2A2/AA had the best result in many indicators of milk productivity. Whereas the lowest signs of milk productivity were shown by animals with a combination of A1A1/BB genotypes. Scientific novelty consisted in the study of the relationship between the complex genotypes of beta-casein, kappa-casein genes and their influence on milk productivity of Kholmogorsk cows. At the moment, there are very few scientific works devoted to the study of complex genotypes of these genes, and there are no studies conducted on the Kholmogorsk breed of cattle.

Белковый состав молока играет значительную роль в формировании его пищевых и технологических характеристик. Молоко представляет собой биологическую жидкость сложного химического состава. Высокая пищевая ценность объясняется уникальным составом, способствующим оптимальному пищеварению и усвоению его человеком. В коровьем молоке присутствуют белки с высокой биологической ценностью, которые являются источником необходимых организму аминокислот и биоактивных пептидов, обеспечивающих организм человека важными питательными элементами и положительно воздействующих на его физиологические функции [1].

Белки молока и продукты их гидролиза характеризуются высоким уровнем биологической активности. Молочные белки делятся на две основные группы: казеиновые и сывороточные. Казеины составляют около 80 % белкового состава молока и включают в себя четыре типа: α 1-казеин (CSN1S1), α 2-казеин (CSN1S2), β -казеин (CSN2) и κ -казеин (CSN3). Сывороточные белки составляют примерно 20 %. Среди них выделяются α -лактальбумин (LALBA), β -лактоглобулин (LGB) и другие белки, присутствующие в составе молока [2].

Различные варианты генов, кодирующих белки, имеют влияние на здоровье человека. Так, например, β -CN A1 и B были обнаружены как предшественники биоактивного пептида β -казоморфина 7 (BCM-7). Двенадцать генетических вариантов β -CN были обнаружены: A1, A2, A3, B, C, D, E, F, G, H1, H2. Варианты A1, A2, A3, B и C являются наиболее изученными аллелями β -CN, а вариант A2 является самым древним аллелем в роде *Bos*. Исследования показали, что этот пептид может повышать риск развития ишемической болезни сердца и сахарного диабета I типа. Также BCM-7 связывают с дискомфортом в области желудка и кишечника, в исследованиях *in vitro* и *in vivo* [3–5]. Протеолитическое высвобождение BCM-7 не наблюдалось в варианте A2, который

был связан с другими преимуществами для здоровья, кроме того, он считается улучшающим усвояемость молока [6, 7]. Предполагается, что β -казоморфин-7 играет роль в нарушении регуляции различных физиологических процессов, что порождает обсуждения относительно его воздействия на здоровье людей [8]. Множество научных работ подтверждает корреляцию между β -казоморфином-7 и большим количеством отрицательных последствий для здоровья человека. Эти исследования указывают на возможную связь данного пептида с индукцией ряда патологий, в том числе инсулинозависимого диабета первого типа, разнообразных сердечно-сосудистых расстройств, неврологических нарушений, включая аутизм [9–11].

Среди казеиновых белков каппа-казеин, кодирующийся геном, расположенным на хромосоме BTA6, является наиболее важным в технологическом процессе переработки молока. Научные работы по изучению вариативности данного гена были выполнены на обширном количестве пород крупного рогатого скота [12, 13]. Наиболее изученными аллелями гена каппа-казеина являются A и B. Они представляют интерес для производителей, так как могут выступать в качестве маркера-кандидата, способствуя повышению уровня и качества молочной продукции. Одни исследования показывают, что генотип BB в значительной мере ассоциирован с показателями молочной продуктивности, тогда как другие отмечают превосходство генотипа AA для проведения селекционных мероприятий. Тем не менее молоко коров, несущих в своем генотипе аллель B, обладает предпочтительными характеристиками для производства сыров [14–16].

Исходя из вышесказанного целью нашей работы являлось определение влияния комплексных генотипов генов бета-казеина и каппа-казеина на показатели молочной продуктивности коров холмогорской породы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования являлось маточное поголовье крупного рогатого скота холмогорской породы – 384 голов из хозяйства в Архангельской области.

Экстракция нуклеиновых кислот проводилась с помощью набора реагентов «МагноПрайм ВЕТ».

Для определения аллельного полиморфизма гена CSN2 использовали аллель-специфичную ПЦР (АС-ПЦР) – табл. 1. В состав реакционной смеси ПЦР входили: геномная ДНК, праймеры

(прямой и обратный), dNTPs 0,2 мМ каждый, Tag ДНК-полимераза 5 единиц активности и буфер x1. Для проведения ПЦР были использованы праймеры, синтезированные ЗАО «Синтол» с нуклеотидной последовательностью: из статьи

F: 5'-СТТ-ССС-TGG- GCC-CAT-ССА-3' 3' (прямой праймер аллеля А1);

F: 5'-СТТ-ССС-TGG-GCC-CAT-ССС-3' (прямой праймер аллеля А2);

R: 5'-AGA-CTG-GAG-CAG-AGG-CAG-AG-3' (обратный праймер А1, А2).

Таблица 1

Условия проведения ПЦР
Conditions for conducting PCR

Ген	Амплификат (п.н.)		Условия проведения ПЦР
	Праймер для А1	Праймер для А2	
CSN2	Праймер для А1	Праймер для А2	94° – 5 мин, 5x(94° – 30 с, 66° – 30 с, 72° – 30 с), 30x(94° – 30 с, 64° – 30 с, 72° – 30 с), 72° – 5 мин
A1A1	244	–	
A1A2	244	244	
A2A2	–	244	

Визуализацию проб проводили путем электрофореза в 2 % агарозном геле.

Для определения аллелей А и В гена каппа-казеина был использован полиморфизм длин рестрикционных фрагментов (ПЦР–ПДРФ).

Были подобраны следующие праймеры для ПЦР.

Прямой праймер CSN3:
АТАГССАААТАТАТСССААТТСАГТ.

Обратный праймер CSN3:
ТТТАТТААТААГТССАТГААТСТТГ.

Была использована следующая реакционная смесь ПЦР: ДНК-матрица, буфер, смесь dNTP, праймеры и HS-Taq ДНК-полимераза. Реакция проходила в ДНК-амплификаторе Applied Biosystems MiniAmp Plus (США) со следующим температурным режимом (табл. 2):

Таблица 2

Протокол температурных режимов циклов ПЦР
Protocol of temperature regimes of PCR cycles

Стадия цикла	Температура и время
Горячий старт	95 °С 5 мин
Количество циклов	40
Денатурация	95 °С 30 с
Отжиг	60 °С 45 с
Элонгация	72 °С 30 с
Достройка	72 °С 5 мин

В состав реакционной смеси рестрикции входили: SE-буфер W, рестриктаза Hind III, стерильная вода и продукт амплификации.

Далее пробы помещали в термостат и инкубировали при 37 °С в течение 19 ч;

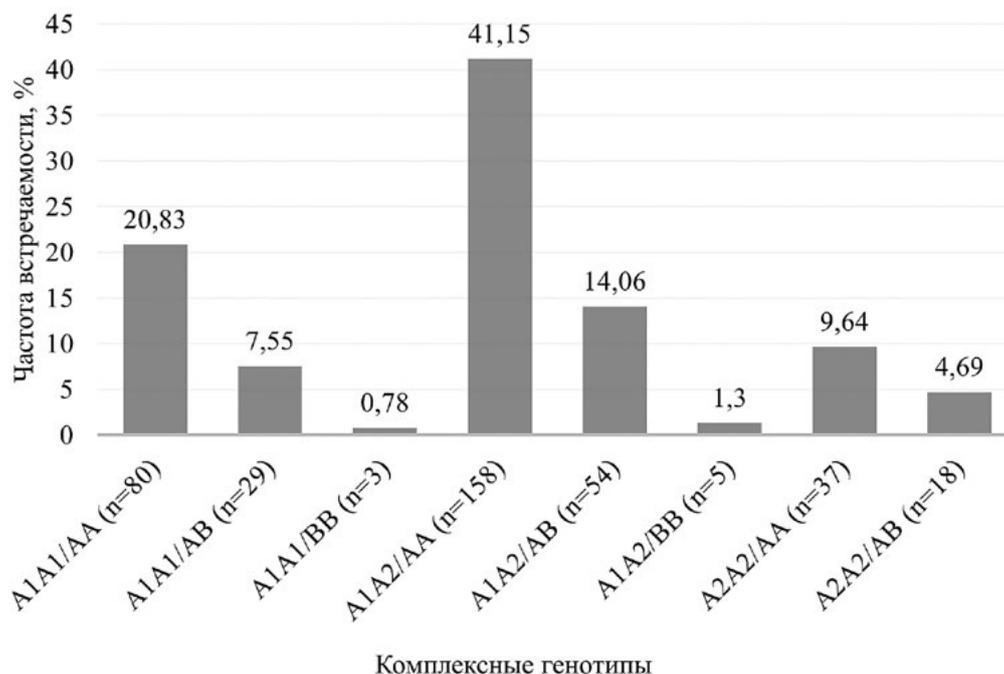
Определение фрагментов рестрикции ДНК путем визуализации результатов методом горизонтального электрофореза с 3 % агарозным гелем.

Полученные данные регистрировали в виде электронных таблиц, визуализацию структуры данных и их анализ проводили с помощью программы MS Office Excel. Вследствие отсутствия

нормального распределения количественные данные описывали с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1–Q3). Сравнение групп выполняли с помощью U-критерия Манна–Уитни. Различия показателей между группами считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате молекулярно-генетического тестирования животных холмогорской породы был выявлен полиморфизм генов бета-казеина (CSN2) и каппа-казеина (CSN3), определена частота встречаемости комплексных генотипов. Частота встречаемости комплексных генотипов CSN2 и CSN3 представлена на рисунке.



Частота встречаемости комплексных генотипов генов CSN2/CSN3
Frequency of occurrence of complex genotypes of CSN2/CSN3 genes

Общая выборка исследования составила 384 головы. Из девяти возможных вариантов сочетаний генотипов бета- и каппа-казеинов в стаде выявлено только восемь сочетаний. Наиболее часто встречается комплексный генотип A1A2/AA, им обладают 41,15 % животных (158 голов). Коровы с сочетанием генотипов A1A1/AA встречаются в стаде с частотой 20,83 %, что составляет 80 голов. Комплексный генотип A1A2/AB составляет 14,06 %, или 54 головы. Группы животных, комплексные генотипы которых включали в себя гомозиготный генотип по аллелю В (A1A2/BB и A1A1/BB) гена каппа-казеина, были самыми немногочисленными, суммарно восемь голов, они имели частоту встречаемости менее 2,5 %.

Особей с генотипами A2A2/BB не выявлено, это может быть связано с проведением селекционных мероприятий в хозяйстве, направленных на закрепление иных генотипов, а также генетической несовместимостью, приводящей к снижению жизнеспособности особи (или же животные с данным сочетанием генотипов выбраковываются по другим причинам). В связи с этим данный вопрос остается актуальным и требует дальнейшего изучения.

Нами были отобраны и проанализированы показатели молочной продуктивности за 305 дней лактации у 113 коров-первотелок из стада общей численностью 384 головы. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3
 Характеристика молочной продуктивности за 305 дней законченной лактации у коров-первотелок с разными комплексными генотипами CSN2/CSN3
 Characteristics of milk productivity for 305 days of completed lactation in first-calf heifers with different complex genotypes CSN2/CSN3

Показатель	A1A1/AA (n = 27)	A1A1/AB (n = 8)	A1A1/BB (n = 1)	A1A2/AA (n = 43)	A1A2/AB (n = 17)	A1A2/BB (n = 1)	A2A2/AA (n = 9)	A2A2/AB (n = 7)	Всего (n = 113)
Удой, кг	6076 (5162;6950)	5654 (5473;6347)	—	6183 (5567;6879)	5948 (5443;6785)	—	6763 (5819;7882)	5934 (5881;6899)	6076 (5529;6899)
Массовая доля жира, %	3,69 (3,47;4,10)	3,53 (3,43;4,12)	—	3,80 (3,53;4,08)	3,64 (3,46;3,82)	—	3,87 (3,43;4,35)	3,85 (3,42;4,24)	3,72 (3,48;4,06)
Массовая доля белка, %	3,17 (3,03;3,40)	3,15 (3,01;3,36)	—	3,23 (3,14;3,33)	3,21 (3,13;3,36)	—	3,25 (3,18;3,49)	3,27 (3,21;3,49)	3,22 (3,12;3,35)
Количество молочного жира, кг	231,07 (194,93;256,28)*	206,98 (190,31;273,88)	—	234,01 (205,49; 264,46)	211,31 (193,18;255,21)*	—	281,08 (229,34;293,06)*	235,58 (228,42;242,19)	232,56 (203,26;264,46)
Количество молочного белка, кг	193,71 (167,62;218,31)*	183,50 (173,11;200,75)*	—	202,99 (182,04;222,87)	189,74 (173,73;225,63)*	—	223,61 (199,79;249,97)*	204,73 (190,48;222,84)	197,86 (177,01;222,87)

Примечание. * достоверные различия между группами ($P \leq 0,05$); — обозначены группы, между которыми обнаружены различия.

Таблица 4

Характеристика молочной продуктивности за 305 дней последней законченной лактации у животных с разными комплексными генотипами CSN2/CSN3
 Characteristics of milk productivity for 305 days of the last completed lactation in animals with different complex genotypes CSN2/CSN3

Показатель	A1A1/AA (n = 80)	A1A1/AB (n = 29)	A1A1/ BB (n = 3)	A1A2/AA (n = 158)	A1A2/AB (n = 54)	A1A2/BB (n = 5)	A2A2/AA (n = 37)	A2A2/AB (n = 18)	Всего (n = 384)
Удой, кг	6668 (5784;7588)	6490 (5699;7289)*	—	6944 (59,98;78,88)	6814 (5923;7332)	6336 (54,07;71,50)	7182 (64,31;78,91)*	6437 (5920;7364)*	6853 (5952;7637)
Массовая доля жира, %	3,77 (3,52;4,11)	3,67 (3,38;4,28)*	—	3,84 (3,53;4,24)	3,70 (3,50;4,21)	4,41 (3,67;4,63)	4,10 (3,64; 4,53)*	3,70 (3,37;4,01)*	3,79 (3,49;4,23)
Массовая доля белка, %	3,21 (3,07;3,38)	3,19 (3,06;3,36)	—	3,23 (3,12;3,38)*	3,17 (3,07;3,27)*	3,20 (3,05;3,41)	3,24 (3,10;3,36)	3,30 (3,21;3,38)*	3,21 (3,10;3,36)
Количество мол. жира, кг	253,20 (208,76;303,70)*	246,03 (213,85;262,99)*	—	268,30 (230,26;308,73)*	255,87 (223,27; 96,86)*	281,32 (209,01;308,43)	288,19 (250,19;317,94)*	239,67 (231,77;273,14)*	260,75 (224,69;303,83)
Количество мол. белка, кг	213,01 (184,52;240,54)*	212,78 (187,25;237,74)*	—	226,66 (194,84;253,13)*	214,90 (186,67;241,61)*	200,73 (170,20;235,44)	226,38 (201,97;255,06)*	213,40 (192,96;244,17)	219,99 (191,64;246,88)

Примечание. * достоверные различия между группами (P ≤ 0,05); — обозначены группы, между которыми обнаружены различия.

Статистически достоверно показано, что максимальное количество молочного жира выявлено у группы коров с комплексным генотипом A2A2/AA – 281,08 кг, что выше, чем у животных с комплексными генотипами A1A2/AB и A1A1/AA на 70 и 50 кг соответственно.

Группа коров с комплексным генотипом A2A2/AA также показала и максимальное содержание молочного белка – 223,61 кг, что статистически значимо превышает исследуемые показатели у особей с генотипами A1A1/AA, A1A1/BB и A1A2/AB.

Следует отметить, что в группах коров с комплексными генотипами A1A1/BB и A1A2/BB оказалось по одной особи, в связи с чем в анализ они не были включены.

Таким образом, наилучшие показатели молочной продуктивности среди коров-первотелок были отмечены у животных с комплексными генотипами, содержащими в себе генотип A2A2 гена бета-казеина (CSN2) и генотип каппа-казеина (CSN3), включающий аллель A.

Однако необходимо отметить, что в нашей выборке отсутствовали коровы с комплексным генотипом A2A2/BB.

Кроме того, нами было проанализировано все поголовье хозяйства в количестве 384 голов. Были изучены показатели молочной продуктивности за 305 дней последней законченной лактации у коров холмогорской породы с разными комплексными генотипами генов бета- и каппа-казеинов. Результаты представлены в табл. 4.

Анализ молочной продуктивности показал, что наибольший удой был получен от коров с комбинацией генотипов A2A2/AA – 7182 кг, что превышает средний показатель по всему стаду. Удой данной группы достоверно выше, чем у групп животных с комплексными генотипами A1A1/AB и A2A2/AB.

В ходе статистической обработки было установлено, что наивысший показатель массовой доли жира имели коровы с генотипом A1A2/BB 4,41 %, однако количество коров, вошедших в эту группу, составило всего пять. На втором месте находились животные с комплексным генотипом A2A2/AA (4,10 %) показатель массовой доли жира у которых, в свою очередь, статистически достоверно отличался от показателя у коров с генотипами A2A2/AB, A1A1/AA и A1A1/AB.

Лидирующей группой животных по показателю массовой доли белка была группа с генотипом A2A2/AB – 3,30 %. Показатели данной группы достоверно превышали показатели группы коров

с комбинацией генотипов A1A2/AB, которая, в свою очередь, имела достоверную разницу с особями-носителями комплексных генотипов A1A2/AA.

Группа животных с генотипом A2A2/AA характеризовалась наибольшим средним значением показателя количества молочного жира (288,19 кг). Медиана данной группы статистически достоверно выше, чем у группы коров с комбинациями генотипов A2A2/AB, A1A2/AB, A1A1/AA, A1A1/AB. Показатель количества молочного жира у группы животных с генотипом A1A2/AA достоверно выше, чем у коров с комплексным генотипом A1A1/AB на 22,27 кг.

Максимальное количество молочного белка имели животные с комбинациями генотипов A2A2/AA (226,38 кг) и A1A2/AA (226,66 кг). Так, группа коров с генотипами A2A2/AA достоверно отличалась от групп с генотипами A1A1/AA и A1A2/AB. Медиана по количеству молочного белка у особей с комплексными генотипами A1A2/AA статистически достоверно выше, чем у животных с комбинациями генотипов A1A1/AB и A1A1/AA.

Животные, имеющие комплексный генотип A1A1/BB, не были включены в статистический анализ в связи с малочисленностью группы.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что молочная продуктивность коров холмогорской породы различается у животных с разными комплексными генотипами генов бета- и каппа-казеинов. Наиболее заметное преимущество отмечено у коров с сочетанием генотипов A2A2/AA, которые характеризовались высокими показателями удою, содержания жира и белка в молоке. Данные наших исследований могут быть использованы для селекционной работы, направленной на улучшение качества молока и повышение общей продуктивности стада.

Отсутствие в выборке коров с сочетанием генотипов A2A2/BB требует дополнительного изучения, так как это может быть результатом селекционных мероприятий или, возможно, других факторов, влияющих на жизнеспособность животных. Необходимо проводить дальнейшие исследования для выявления причин низкой частоты встречаемости этого сочетания генотипов и его влияния на молочную продуктивность.

В целом результаты исследования подчеркивают важность генетического мониторинга в сельскохозяйственной практике и могут служить основой для разработки стратегий селекции и

управления племенным материалом в хозяйствах, занимающихся разведением коров холмогорской породы.

ВЫВОДЫ

1. Животные с комплексным генотипом А1А2/АА имели более высокую частоту встречаемости.

2. Коровы-первотелки с комбинацией генотипов А2А2/АА имели лучшие показатели по удою, массовой доле жира, количеству молочного жира и количеству молочного белка. Наибольшее содержание белка в молоке отмечено у животных с генотипами А2А2/АВ.

3. За последнюю законченную лактацию коровы с комплексным генотипом А2А2/АА имели лучшие показатели по удою, количеству молочного жира и количеству молочного белка. Наибольшее содержание массовой доли жира отмечено у животных с генотипами А1А2/ВВ, тогда как наибольшее содержание белка в молоке – у коров с генотипами А2А2/АА.

Статья подготовлена в рамках выполнения темы государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН «Молекулярно-генетическая оценка сельскохозяйственных животных по селекционным и хозяйственнополезным признакам в условиях арктических и субарктических территорий РФ» (FUUW-2024-0006).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Quantitative and qualitative detailed milk protein profiles of 6 cattle breeds: Sources of variation and contribution of protein genetic variants* / N. Amalfitano, G. Stocco, A. Maurmayr [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2020. – Vol. 103. – P. 11190–11208. – DOI: 10.3168/jds.2020-18497.
2. *Polymorphisms in CSN3, CSN2 and LGB genes and their relation to milk production in dairy cattle in the Czech Republic* / J. Citek, L. Hanusova, L. Lískovcova [et al.] // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. – 2019. – Vol. 67(1). – P. 19–24. – DOI: 10.11118/actaun201967010019.
3. *The variation in the beta-casein genotypes and its effect on milk yield and genomic values in Holstein-Friesian cows* / S. Ardicli, O. Aldevir, E. Aksu [et al.] // Animal Biotechnology. – 2023. – Vol. 34. – P. 4116–4125. – DOI: 10.1080/10495398.2023.2267614.
4. *The influence of breast milk and infant formulae hydrolysates on bacterial adhesion and Caco-2 cells functioning* / E. Fiedorowicz, L.H. Markiewicz, K. Sidor [et al.] // Food Research International. – 2016. – Vol. 89. – P. 679–688. – DOI: 10.1016/j.foodres.2016.09.022.
5. *Comparison of the impact of bovine milk β -casein variants on digestive comfort in females self-reporting dairy intolerance: a randomized controlled trial* / A.M. Milan, A. Shrestha, H.J. Karlström [et al.] // The American Journal of Clinical Nutrition. – 2020. – Vol. 111. – P. 149–160. – DOI: 10.1093/ajcn/nqz279.
6. *Role of CSN2, CSN3, and BLG genes and the polygenic background in the cattle milk protein profile* / N. Amalfitano, L.F.M. Mota, G.M. Rosa [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2022. – Vol. 105. – P. 6001–6020. – DOI: 10.3168/jds.2021-21421.
7. *Frequencies Evaluation of β -Casein Gene Polymorphisms in Dairy Cows Reared in Central Italy* / C. Sebastiani, C. Arcangeli, M. Ciullo [et al.] // Animals. – 2020. – Vol. 10(2). – P. 1–7. – DOI: 10.3390/ani10020252.
8. *Does a Little Difference Make a Big Difference? Bovine β -Casein A1 and A2 Variants and Human Health-An Update* / A. Cieslinska, E. Fiedorowicz, D. Rozmus [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2022. – Vol. 23. – P. 15637. – DOI: 10.3390/ijms232415637.
9. *Молочная продуктивность коров-первотелок разных породных групп черно-пестрого скота в зависимости от полиморфизма гена бета-казеина* / С.О. Снигирев, С.А. Ламонов, И.А. Скоркина [и др.] // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1(72). – С. 86–89.
10. *Release of β -casomorphin-7 from bovine milk of different β -casein variants after ex vivo gastrointestinal digestion* / T. Asledottir, T.T. Le, N.A. Poulsen [et al.] // International Dairy Journal. – 2018. – Vol. 81. – P. 8–11. – DOI: 10.1016/j.idairyj.2017.12.014.
11. *β -Casomorphin: A complete health perspective* / M. Thiruvengadam, B. Venkidasamy, P. Thirupathi [et al.] // Food Chemistry. – 2021. – Vol. 337. – P. 127765. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127765.
12. *Volkandari S.D., Indriawati I., Margawati E.T. Genetic polymorphism of kappa-casein gene in Friesian Holstein: a basic selection of dairy cattle superiority* // Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture. – 2017. – Vol. 42. – P. 213–219. – DOI: 10.14710/jitaa.42.4.213-219.
13. *Genetic association of variations in the kappa-casein and β -lactoglobulin genes with milk traits in girolando cattle* / S.B.P. Barbosa, I.I.M. Araujo, M.F. Martins [et al.] // Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal. – 2019. – Vol. 20. – P. 1–12. – DOI: 10.1590/S1519-9940200312019.
14. *Гатилова Е.В., Ефимова Л.В., Иванова О.В. Встречаемость генотипов каппа-казеина и их влияние на молочную продуктивность коров разных пород* // Вестник АПК Ставрополя. – 2020. – № 4(40). – С. 42–47. – DOI: 10.31279/2222-9345-2020-9-40-42-47.
15. *Влияние полиморфизма генов CSN2, CSN3 и PIT1 на продуктивные и хозяйственные признаки крупного рогатого скота ярославской породы* / Н.П. Сударев, С.В. Чаргеишвили, Н.С. Марзанов [и др.] // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2024. – № 1. – С. 78–83. – DOI:10.35523/2307-5872-2024-46-1-78-83.

16. Genetic polymorphisms of kappa casein gene and its association with milk and composition traits in cows: An updated meta-analysis / Y.C. Bangar, A. Magotra, A. Chauhan [et al.] // *Meta Gene*. – 2021. – Vol. 30. – P. 100948. – DOI: 10.1016/j.mgene.2021.100948.

REFERENCES

- Amalfitano N., Stocco G., Maurmayr A. et al., Quantitative and qualitative detailed milk protein profiles of 6 cattle breeds: Sources of variation and contribution of protein genetic variants, *Journal of Dairy Science*, 2020, Vol. 103, pp. 11190–11208, DOI: 10.3168/jds.2020-18497.
- Citek J., Hanusova L., Liskovcova L. et al., Polymorphisms in CSN3, CSN2 and LGB genes and their relation to milk production in dairy cattle in the Czech Republic, *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2019, Vol. 67(1), pp. 19–24, DOI: 10.11118/actaun201967010019.
- Ardicli S., Aldevir O., Aksu E. et al., The variation in the beta-casein genotypes and its effect on milk yield and genomic values in Holstein-Friesian cows, *Animal Biotechnology*, 2023, Vol. 34, pp. 4116–4125, DOI: 10.1080/10495398.2023.2267614.
- Fiedorowicz E., Markiewicz L.H., Sidor K. et al., The influence of breast milk and infant formulae hydrolysates on bacterial adhesion and Caco-2 cells functioning, *Food Research International*, 2016, Vol. 89, pp. 679–688, DOI: 10.1016/j.foodres.2016.09.022.
- Milan A.M., Shrestha A., Karlstrom H.J. et al., Comparison of the impact of bovine milk β -casein variants on digestive comfort in females self-reporting dairy intolerance: a randomized controlled trial, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2020, Vol. 111, pp. 149–160, DOI: 10.1093/ajcn/nqz279.
- Amalfitano N., Mota L.F.M., Rosa G.M. et al., Role of CSN2, CSN3, and BLG genes and the polygenic background in the cattle milk protein profile, *Journal of Dairy Science*, 2022, Vol. 105, pp. 6001–6020, DOI: 10.3168/jds.2021-21421.
- Sebastiani C., Arcangeli C., Ciullo M. et al., Frequencies Evaluation of β -Casein Gene Polymorphisms in Dairy Cows Reared in Central Italy, *Animals*, 2020, Vol. 10(2), pp. 1–7, DOI: 10.3390/ani10020252.
- Cieslinska A., Fiedorowicz E., Rozmus D. et al., Does a Little Difference Make a Big Difference? Bovine β -Casein A1 and A2 Variants and Human Health-An Update, *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, Vol. 23, pp. 15637, DOI: 10.3390/ijms232415637.
- Snigirev S.O., Lamonov S.A., Skorkina I.A. et al., *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2023, No. 1(72), pp. 86–89. (In Russ.)
- Asledottir T., Le T.T., Poulsen N.A. et al., Release of β -casomorphin-7 from bovine milk of different β -casein variants after ex vivo gastrointestinal digestion, *International Dairy Journal*, 2018, Vol. 81, pp. 8–11, DOI: 10.1016/j.idairyj.2017.12.014 (In English)
- Thiruvengadam M., Venkidasamy B., Thirupathi P. et al., β -Casomorphin: A complete health perspective, *Food Chemistry*, 2021, Vol. 337, pp. 127765, DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127765.
- Volkandari S.D., Indriawati I., Margawati E.T., Genetic polymorphism of kappa-casein gene in Friesian Holstein: a basic selection of dairy cattle superiority, *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 2017, Vol. 42, pp. 213–219, DOI: 10.14710/jitaa.42.4.213-219.
- Barbosa S.B.P., Araujo I.I.M., Martins M.F. et al., Genetic association of variations in the kappa-casein and β -lactoglobulin genes with milk traits in girolando cattle, *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 2019, Vol. 20, pp. 1–12, DOI: 10.1590/S1519-9940200312019.
- Gatilova E.V., Efimova L.V., Ivanova O.V., *Vestnik APK Stavropol'ya*, 2020, No. 4(40), pp. 42–47, DOI: 10.31279/2222-9345-2020-9-40-42-47 (In Russ.)
- Sudarev N.P., Chargeishvili S.V., Marzanov N.S., *Agrarnyy Vestnik Verkhnevolzh'ya*, 2024, No. 1, pp. 78–83, DOI:10.35523/2307-5872-2024-46-1-78-83 (In Russ.)
- Bangar Y.C., Magotra A., Chauhan A., Genetic polymorphisms of kappa casein gene and its association with milk and composition traits in cows: An updated meta-analysis, *Meta Gene*, 2021, Vol. 30, pp. 100948, DOI: 10.1016/j.mgene.2021.100948.

Информация об авторах:

Н.А. Худякова, кандидат сельскохозяйственных наук
 И.С. Кожевникова, кандидат биологических наук
 А.О. Ступина, младший научный сотрудник
 И.А. Классен, младший научный сотрудник
 М.С. Калмыкова, младший научный сотрудник

Contribution of the authors:

N. A. Khudyakova, Candidate of Sciences in Agriculture
 I. S. Kozhevnikova, Candidate of Sciences in Biology
 A. O. Stupina, Junior Research Fellow
 I. A. Klassen, Junior Research Fellow
 M. S. Kalmykova, Junior Research Fellow

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

