

ПОЛИМОРФИЗМ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ ЛОКУСОВ ЯРОСЛАВСКОГО СКОТА В СТАДАХ РАЗЛИЧНОГО СЕЛЕКЦИОННОГО ЗНАЧЕНИЯ

А.В. Ильина, М.В. Абрамова, С.В. Зырянова, Е.Г. Евдокимов, Ю.В. Муштукова, Н.В. Приданникова, А.В. Коновалов

Ярославский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса», Ярославль, Россия

E-mail: abramovam2016@yandex.ru

Для цитирования: *Полиморфизм микросателлитных локусов ярославского скота в стадах различного селекционного значения / А.В. Ильина, М.В. Абрамова, С.В. Зырянова, Е.Г. Евдокимов, Ю.В. Муштукова, Н.В. Приданникова, А.В. Коновалов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 4(73). – С. 198–206. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-198-206.*

Ключевые слова: крупный рогатый скот, ярославская порода, полиморфизм, микросателлитные локусы, аллели, гетерозиготность, молочная продуктивность.

Реферат. В работе представлены результаты изучения полиморфизма микросателлитных локусов крупного рогатого скота ярославской породы в племенных стадах Ярославской области. По 15 микросателлитным локусам ДНК было выявлено 115 аллелей с различной частотой встречаемости. В каждом из изучаемых локусов идентифицировано от 5 до 11 аллелей. Среднее число аллелей на локус составило 6,41, количество эффективных аллелей – 3,58. Наибольшая частота встречаемости (0,75) по всей популяции выявлена у локуса SPS115 с аллелью 248, по хозяйствам её распространение составило от 0,72 до 0,83. Для локуса SPS115 редкими аллелями являются 252, 254 и 256. По локусу BM1818 выявлено 6 аллелей. Наибольшую частоту встречаемости во всех исследуемых стадах имеет аллель 266, также в достаточном количестве присутствуют аллели 262, 264 и 270. Наибольшую частоту встречаемости по стадам в локусе BM1824 имеет аллель 182 (от 0,46 до 0,64), в среднем по выборке – 0,51. Выявлены редкие аллели, которые присутствуют только в отдельных стадах с частотой встречаемости от 0,01 до 0,02. Среднее число наблюдаемой гетерозиготности составило 0,71, а ожидаемой на 0,60 % меньше наблюдаемой. В ходе исследования установлено, что наибольший надой имели первотелки в племенном заводе I (6871 кг, $p < 0,001$), в этом стаде выявлены редкие аллели – 179 в локусе CSSM66 и 268 в локусе BM1818. В племенном репродукторе III выявлено наибольшее количество аллелей, которых нет в других стадах. От первотелок этого стада получена наибольшая массовая доля жира – 4,36 % и массовая доля белка – 3,45 %. Индекс фиксации во всех исследуемых стадах являлся отрицательным ($-0,019$), что свидетельствует об избытке гетерозигот. Полученные данные позволяют контролировать уровень гомозиготности в стадах и учитывать аллельный полиморфизм маточного поголовья при закреплении быков-производителей для получения племенного молодняка и в заказных спариваниях.

POLYMORPHISM OF MICROSATELLITE LOCI OF YAROSLAVL CATTLE IN HERDS OF VARIOUS BREEDING VALUES

A.V. Ilyina, M.V. Abramova, S.V. Zyryanova, E.G. Evdokimov, Yu.V. Mushtukova, N.V. Pridannikova, A.V. Kononov

Federal Williams Research Center for Forage Production and Agroecology, Scientific Research Institute of Livestock Breeding and Forage Production, Yaroslavl, Russia

E-mail: abramovam2016@yandex.ru

Keywords: dairy cattle, yaroslavl breed, polymorphism, microsatellite loci, alleles, heterozygosity, dairy productivity.

Abstract. The paper presents the results of studying the polymorphism of microsatellite loci of Yaroslavl cattle in breeding herds of the Yaroslavl region. 115 alleles with different frequency of occurrence were identified for 15 microsatellite DNA loci. From 5 to 11 alleles were identified in each of the studied loci. The average number of alleles per locus was 6.41, the number of effective alleles was 3.58. The highest incidence (0.75) in the entire population was found in locus SPS115 with allele 248, its distribution ranged from 0.72 to 0.83 across farms. For

the SPS115 locus, the rare alleles are 252, 254 and 256. 6 alleles were identified at the BM1818 locus. Allele 266 has the highest frequency of occurrence in all the studied herds, and alleles 262, 264 and 270 are present in sufficient numbers. The allele 182 has the highest frequency of occurrence in herds at the BM1824 locus (from 0.46 to 0.64), with an average of 0.51 in the sample. Rare alleles have been identified, which are present only in individual herds with a frequency of occurrence from 0.01 to 0.02. The average number of observed heterozygosity was 0.71, and the expected one was 0.60% less than the observed one. The study found that the first herd the heifers had the highest yield (6871 kg, $p < 0.001$), rare alleles were identified in this herd – 179 at the CSSM66 locus and 268 at the BM1818 locus. The largest number of alleles, which are not present in other herds, was revealed in the breeding herd III. The higher fat content was obtained from the first heifers of this herd – 4.36% and the higher protein content – 3.45%. The fixation index in all the studied herds was negative (-0.019), which indicates an excess of heterozygotes. The obtained data will allow controlling the level of homozygosity in herds, and taking into account the allelic polymorphism of the breeding stock when fixing bulls of producers to obtain breeding offspring and in custom mating.

Интенсификация и увеличение объемов производства животноводческой продукции отрасли молочного скотоводства в нашей стране в большей мере связана с изменением породного состава крупного рогатого скота. Наибольшее распространение получили животные голштинской породы и их помеси. В результате этого происходит интродукция и поглощение аллелофонда локальных пород, что может привести к снижению генетического разнообразия и утере уникальных аллелей, присущих аборигенным породам [1–3].

В исследованиях многих авторов установлено, что локальные породы крупного рогатого скота хорошо адаптированы к местным условиям кормления и содержания, устойчивы к ряду заболеваний и обладают наибольшим продуктивным долголетием [4, 5]. В связи с этим необходимо постоянно проводить исследования популяционно-генетической структуры отечественных пород скота с использованием различного спектра генетических маркеров.

В последнее время для более информативного исследования используют микросателлитный анализ. Благодаря использованию STR-маркеров (short tandem repeat) многие ученые исследуют генетическую структуру местного крупного рогатого скота, выявляя приватные аллели [6–11].

Целью настоящего исследования являлось изучение полиморфизма микросателлитных локусов в субпопуляциях ярославского скота и выявление его влияния на молочную продуктивность.

В связи с этим ставились следующие задачи:

- 1) оценить полиморфизм микросателлитных локусов в субпопуляциях ярославского скота;
- 2) изучить генетическую структуру коров ярославской породы;
- 3) оценить молочную продуктивность за 305 дней первой лактации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в племенных стадах Ярославской области, из них два племенных завода по ярославской породе крупного рогатого скота – АО «Племзавод Ярославка» (I) и ООО «Агропекс» (II); три племенных репродуктора по ярославской породе – ООО «Меленковский» (III), СПК (колхоз) «Прогресс» (IV), АО «Татищевское» (V). Объектом исследования являлись чистопородные коровы-первотелки ($n = 211$ голов).

Анализ STR проводили с помощью набора реагентов для мультиплексного анализа микросателлитных маркеров крупного рогатого скота COrDIS Cattle (ООО «Гордиз») по 15 микросателлитным локусам (BM1818, BM1824, BM2113, CSRM60, CSSM66, ILSTS6, INRA23, SPS115, TGLA53, TGLA122, ETH3, ETH10, ETH225, TGLA227, TGLA126). Материалом для исследования послужила цельная кровь. Выделение ДНК из крови проводили с помощью набора «ДНК-Экскан-1» (ООО «Синтол») по протоколу, представленному производителем.

Амплификацию STR-локусов проводили, используя термоциклер C1000 Touch Thermal Cycler (Bio-Rad Laboratories, Inc) по протоколу, предоставленному производителем набора реагентов. Электрофорез проводили на анализаторе ABI 3130 (Thermo Fisher Scientific Inc.).

Расчет популяционно-генетических характеристик, включающих частоту аллелей, наблюдаемое количество аллелей, эффективное число аллелей (N_e), ожидаемая (H_e) и наблюдаемая (H_o) гетерозиготность, индекс фиксации Райта (F_{is}), оценку соответствия распределения генотипов закону Харди–Вайнберга с помощью критерия Хи-квадрат проводили с использованием GenAlEx 6.5 [12].

После проведения микросателлитного анализа у подконтрольных животных была проведена

оценка молочной продуктивности по первой лактации с использованием данных ИАС «Селэкс. Молочный скот». Животные лактировали в одинаковый временной интервал 2021–2022 гг. Материалом для исследований послужила продуктивность коров по первой законченной лактации (надой за 305 дней, содержание жира, %; содержание белка, %; количество молочного жира, кг; количество молочного белка, кг; суммарное содержание жира и белка в молоке, кг).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам исследований в подконтрольной выборке животных по 15 микросателлитным локусам ДНК было выявлено 115 аллелей с различной частотой встречаемости. В каждом из изучаемых локусов идентифицировано от пяти (BM1824, SPS115) до одиннадцати (CSSM66) аллелей. Среднее число аллелей на локус составило 6,41, количество эффективных аллелей – 3,58 (табл. 1).

Таблица 1

Частота встречаемости аллелей в современных стадах чистопородного скота ярославской породы
The frequency of occurrence of alleles in modern herds of purebred cattle of the Yaroslavl breed

Локус	Алель	Хозяйства					Локус	Алель	Хозяйства				
		I	II	III	IV	V			I	II	III	IV	V
	n	52	51	57	29	22		n	52	51	57	29	22
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
BM1818	258	—	—	0,02	—	0,07	ILSTS6	282	0,12	0,11	0,21	0,17	0,11
	262	0,18	0,19	0,16	0,17	0,23		286	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
	264	0,17	0,12	0,08	0,14	0,21		288	0,04	0,08	0,04	0,02	0,16
	266	0,49	0,59	0,62	0,57	0,32		290	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00
	268	0,01	—	—	—	—		292	0,32	0,27	0,20	0,28	0,30
	270	0,14	0,11	0,12	0,12	0,18		294	0,07	0,07	0,07	0,03	0,07
BM1824	178	0,23	0,17	0,14	0,19	0,07		296	0,42	0,40	0,42	0,43	0,34
	180	0,19	0,32	0,25	0,28	0,21		298	0,02	0,05	0,04	0,05	0,02
	182	0,50	0,46	0,54	0,47	0,64		300	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
	188	0,02	0,01	0,03	0,03	0,02		INRA23	198	0,01	0,03	0,02	0,02
	190	0,06	0,04	0,04	0,03	0,07	200		0,01	0,00	0,02	0,02	0,00
BM2113	125	0,11	0,08	0,13	0,07	0,14	206		0,04	0,03	0,10	0,03	0,09
	127	0,10	0,13	0,18	0,21	0,09	208		0,30	0,34	0,17	0,33	0,36
	133	0,01	0,01	—	—	—	210		0,03	0,04	0,03	0,03	0,02
	135	0,31	0,28	0,32	0,26	0,32	212		0,22	0,14	0,25	0,17	0,14
	137	0,42	0,47	0,35	0,47	0,43	214		0,39	0,42	0,43	0,40	0,39
	139	0,03	—	—	—	0,02	SPS115		248	0,72	0,72	0,76	0,83
	141	0,03	0,04	0,03	—	—		252	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02
CSRM60	92	0,06	0,04	0,04	—	—		254	0,06	0,05	0,08	0,05	0,02
	94	0,07	0,06	0,11	0,07	0,05		256	0,04	0,05	0,04	0,00	0,02
	96	0,26	0,26	0,20	0,10	0,11	260	0,17	0,16	0,11	0,10	0,14	
	98	0,03	0,06	0,10	0,02	0,05	TGLA53	154	0,42	0,41	0,44	0,36	0,30
	100	0,14	0,14	0,16	0,22	0,21		158	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00
	102	0,39	0,35	0,34	0,48	0,48		160	0,26	0,38	0,25	0,28	0,46
	104	0,05	0,10	0,04	0,10	0,11		162	0,18	0,11	0,14	0,26	0,11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
CSSM66	179	0,01	–	–	–	–	TGLA53	168	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
	183	0,11	0,07	0,09	0,10	0,14		170	0,02	0,02	0,05	0,03	0,02
	185	0,39	0,26	0,27	0,24	0,30		176	0,07	0,06	0,09	0,03	0,07
	187	0,08	0,08	0,10	0,07	0,14		178	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02
	189	0,01	0,04	0,02	0,02	0,07		184	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02
	191	0,07	0,04	0,06	0,09	0,05		186	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
	193	0,15	0,27	0,28	0,16	0,18	TGLA122	141	0,01	0,02	0,04	0,02	0,07
	195	–	0,01	–	–	–		143	0,37	0,33	0,44	0,38	0,25
	197	0,13	0,17	0,16	0,22	0,02		147	0,18	0,22	0,21	0,24	0,27
	210	–	–	–	0,07	–		149	0,01	0,04	0,03	0,03	0,05
	211	0,06	0,08	0,03	0,03	0,11		151	0,21	0,19	0,11	0,19	0,27
ETH3	117	0,22	0,12	0,23	0,14	0,30	TGLA126	153	0,06	0,07	0,05	0,02	0,00
	119	0,42	0,45	0,45	0,36	0,46		159	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
	121	0,06	0,08	0,05	0,07	0,05		161	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
	123	0,02	0,02	–	0,02	0,02		173	0,15	0,14	0,12	0,10	0,07
	125	0,08	0,15	0,03	0,12	0,05		183	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
	127	0,16	0,16	0,19	0,22	0,09		111	0,00	0,00	0,03	0,03	0,02
	129	0,04	0,03	0,05	0,07	0,05	TGLA227	113	0,02	0,05	0,08	0,00	0,00
ETH10	209	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00		115	0,28	0,34	0,24	0,31	0,36
	213	0,06	0,05	0,02	0,05	0,00		117	0,33	0,31	0,34	0,43	0,32
	215	0,02	0,05	0,03	0,00	0,02		121	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00
	217	0,13	0,21	0,22	0,16	0,25		123	0,37	0,28	0,31	0,21	0,30
	219	0,46	0,41	0,48	0,53	0,36		77	0,07	0,06	0,10	0,05	0,00
	221	0,33	0,28	0,21	0,26	0,36		81	0,39	0,41	0,39	0,28	0,21
	223	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00		83	0,01	0,03	0,04	0,05	0,05
	225	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00		87	0,04	0,08	0,02	0,07	0,16
ETH225	140	0,08	0,16	0,12	0,17	0,14		89	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00
	142	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00		91	0,13	0,13	0,07	0,10	0,18
	144	0,23	0,19	0,20	0,12	0,39		93	0,14	0,15	0,18	0,17	0,07
	146	0,29	0,27	0,31	0,31	0,18		95	0,03	0,04	0,02	0,03	0,00
	148	0,14	0,17	0,14	0,12	0,11		97	0,18	0,10	0,18	0,19	0,34
	150	0,24	0,22	0,21	0,26	0,16		103	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00
	160	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02		–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

По данным табл. 1 установлено, что во всех локусах присутствуют как аллели с наибольшей частотой встречаемости, так и редкие (с частотой менее 0,1).

Наибольшая частота встречаемости (0,75) по всей популяции выявлена у локуса SPS115 с аллелью 248, по хозяйствам ее распространение составило от 0,72 до 0,83. Сходные данные получены М.А. Часовщиковой (2019, 2021) на коровах голштинской и черно-пестрой пород, аллель 248

локуса SPS115 также отличалась наибольшей частотой встречаемости: 0,60 и 0,58 соответственно [13, 14]. У коров айрширской породы наибольшее распространение получила аллель 214 локуса INRA23 (0,74), а частота аллеля 248 локуса SPS115 имела среднее значение – 0,56 [15].

Для локуса SPS115 редкими аллелями являются 252, 254 и 256, при этом животные–носители аллели 256 в стаде IV не выявлены. Данные аллели также присутствуют, но встречаются с

невысокой частотой у других пород молочного направления продуктивности [13–15].

Всего по локусу BM1818 выявлено 6 аллелей (см. табл. 1). В целом по популяции частота встречаемости аллели 266 локуса BM1818 составила 0,54. Эта аллель была обнаружена на других породах крупного рогатого скота как мясного, так и молочной продуктивности, а также у аборигенного якутского скота [16, 17]. Наибольшую частоту встречаемости во всех исследуемых стадах имеет аллель 266 (от 0,32 в хозяйстве V до 0,62 в IV), при этом также в достаточном количестве присутствуют аллели 262, 264 и 270. Аллель 268 выявлена у животных только в стаде I.

Наибольшую частоту встречаемости по стадам в локусе BM1824 имеет аллель 182 (от 0,46 до 0,64), в среднем по выборке – 0,51. В четырех стадах частота встречаемости аллелей 178, 180 была на уровне средней, за исключением стада V, в котором аллель 178 была редкой. Аллели 188, 190 идентифицированы во всех стадах, однако частота встречаемости не превышала 0,1. При этом аллель 190 локуса BM1824 является одной из уникальных, характерных для ярославской и черно-пестрой пород [18].

В локусе ETH10 наибольшая частота встречаемости отмечена у аллели 219 (от 0,36 до 0,53); в локусе ETH3 у аллели 119 (от 0,36 до 0,46); в локусе BM2113 у аллели 137 (от 0,35 до 0,47); в локусе INRA23 у аллели 214 (от 0,39 до 0,43); в локусе ILSTS6 у аллели 296 (от 0,34 до 0,43); в локусе TGLA53 у аллели 154 (от 0,30 до 0,44); в локусе TGLA122 у аллели 143 (от 0,25 до 0,44); в локусе CSRM60 у аллели 102 (от 0,34 до 0,48); в локусе TGLA227 у аллели 81 (от 0,21 до 0,41); в локусе CSSM66 у аллели 185 (от 0,24 до 0,39), также этот локус является наиболее вариабельным (11 аллелей).

У локусов TGLA126 и ETH225 отмечено по три аллели с наибольшей частотой распространения. В среднем по локусу TGLA126 частота распространения аллелей 115, 117, 123 составила 0,30, 0,34, 0,30 соответственно. Отдельно по стадам прослеживалась схожая тенденция по частоте встречаемости этих аллелей. В локусе ETH225 по аллелям 144, 146, 150 средняя частота по выборке составила 0,21, 0,28, 0,22 соответственно, при этом наибольший показатель по аллели 144 был в стаде V, что, вероятно, связано с большей удаленностью этого предприятия от других.

Выявлены редкие аллели, которые присутствуют только в племенном репродукторе III: 183 в локусе TGLA122 с частотой 0,01; 168 в локусе TGLA53 с частотой 0,02; 186 в локусе TGLA53 с частотой 0,01; 209 в локусе ETH10 с частотой 0,01 и аллель 225 в локусе ETH10 с частотой 0,01.

В племенном заводе I также установлены редкие аллели 179 в локусе CSSM66 и 268 в локусе BM1818 с частотой встречаемости 0,01. По данным С.В. Николаева, аллель 179 в локусе CSSM66 была выявлена у якутского аборигенного скота с частотой встречаемости 0,45 [15].

В племенном заводе II редкими аллелями являются 195 в локусе CSSM66 с частотой 0,01 и аллель 286 в локусе ILSTS6 с частотой 0,02. В племрепродукторе IV аллель 210 в локусе CSSM66 с частотой 0,07 и аллель 161 в локусе TGLA122 с частотой 0,02 являются редкими.

Изучение полиморфизма STR-локусов позволило выявить ряд частных аллелей, присутствующих только животным ярославской породы: аллель 141 в локусе BM2113, аллель 160 в локусе ETH225, аллель 173 в локусе TGLA122 и аллель 111 в локусе TGLA126, четыре аллели (191, 195, 210, 211) в локусе CSSM66, аллель 123 в локусе ETH3, аллели 286 и 300 в локусе ILSTS6, при этом отсутствующие в аллелофонде других сравниваемых пород [13–17].

В табл. 2 представлены наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготность. Наблюдаемая гетерозиготность показывает генетическую изменчивость, а ожидаемая является показателем, характеризующим разнообразие исследуемой популяции.

В результате исследований установлено, что по некоторым локусам наблюдается превышение показателя наблюдаемой гетерозиготности над ожидаемой, что говорит о дефиците гетерозиготных генотипов в исследуемой выборке. Во всех исследуемых стадах выявлены локусы с недостатком гетерозигот, в среднем от четырех (стадо I) до девяти (стадо II) локусов, при этом наибольшие положительные значения индекса фиксации получены по локусам SPS115 в стаде V и ETH3 в стаде I, $F_{is} = +0,214$ и $+0,136$ соответственно. Это может свидетельствовать об использовании в этих стадах отдаленного родственного спаривания, а также направленного отбора вследствие связи локуса с хозяйственно полезными признаками.

Гетерозиготность локусных микросателлитов
Heterozygosity of locus microsatellites

Локус	I (n = 52)			II (n = 51)			III (n = 57)			IV (n = 29)			V (n = 22)		
	Ho	He	Fis	Ho	He	Fis	Ho	He	Fis	Ho	He	Fis	Ho	He	Fis
BM1818	0,712	0,675	-0,054	0,549	0,594	0,075	0,579	0,566	-0,024	0,586	0,613	0,044	0,773	0,768	-0,007
BM1824	0,596	0,656	0,091	0,725	0,654	-0,11	0,684	0,627	-0,092	0,69	0,669	-0,031	0,591	0,543	-0,087
BM2113	0,75	0,704	-0,065	0,667	0,679	0,018	0,649	0,728	0,109	0,621	0,669	0,072	0,682	0,685	0,005
CSRM60	0,75	0,745	-0,006	0,706	0,774	0,087	0,807	0,791	-0,02	0,69	0,69	0,001	0,773	0,7	-0,103
CSSM66	0,788	0,78	-0,011	0,902	0,817	-0,104	0,789	0,801	0,014	0,931	0,838	-0,111	0,818	0,822	0,005
ETH10	0,712	0,661	-0,077	0,667	0,708	0,058	0,719	0,673	-0,069	0,621	0,621	0	0,727	0,673	-0,081
ETH225	0,769	0,781	0,015	0,843	0,796	-0,059	0,86	0,786	-0,094	0,759	0,778	0,024	0,727	0,76	0,043
ETH3	0,635	0,734	0,136	0,725	0,729	0,005	0,737	0,704	-0,046	0,931	0,775	-0,201	0,636	0,691	0,079
ILSTS6	0,731	0,7	-0,043	0,725	0,743	0,024	0,842	0,73	-0,154	0,69	0,704	0,02	0,773	0,753	-0,026
INRA23	0,654	0,704	0,072	0,745	0,682	-0,092	0,649	0,717	0,094	0,793	0,703	-0,129	0,818	0,691	-0,184
SPS115	0,423	0,445	0,049	0,451	0,458	0,014	0,439	0,398	-0,101	0,345	0,301	-0,144	0,273	0,347	0,214
TGLA122	0,769	0,761	-0,011	0,745	0,782	0,047	0,719	0,732	0,018	0,759	0,749	-0,013	0,864	0,777	-0,112
TGLA126	0,788	0,681	-0,157	0,647	0,7	0,076	0,649	0,726	0,105	0,655	0,674	0,027	0,682	0,679	-0,005
TGLA227	0,827	0,768	-0,077	0,824	0,771	-0,068	0,789	0,77	-0,025	0,828	0,835	0,009	0,818	0,777	-0,053
TGLA53	0,75	0,714	-0,05	0,667	0,669	0,003	0,754	0,717	-0,053	0,793	0,723	-0,097	0,727	0,687	-0,059

Примечание: Ho – гетерозиготность наблюдаемая; He – гетерозиготность ожидаемая; F_{is} – индекс фиксации.

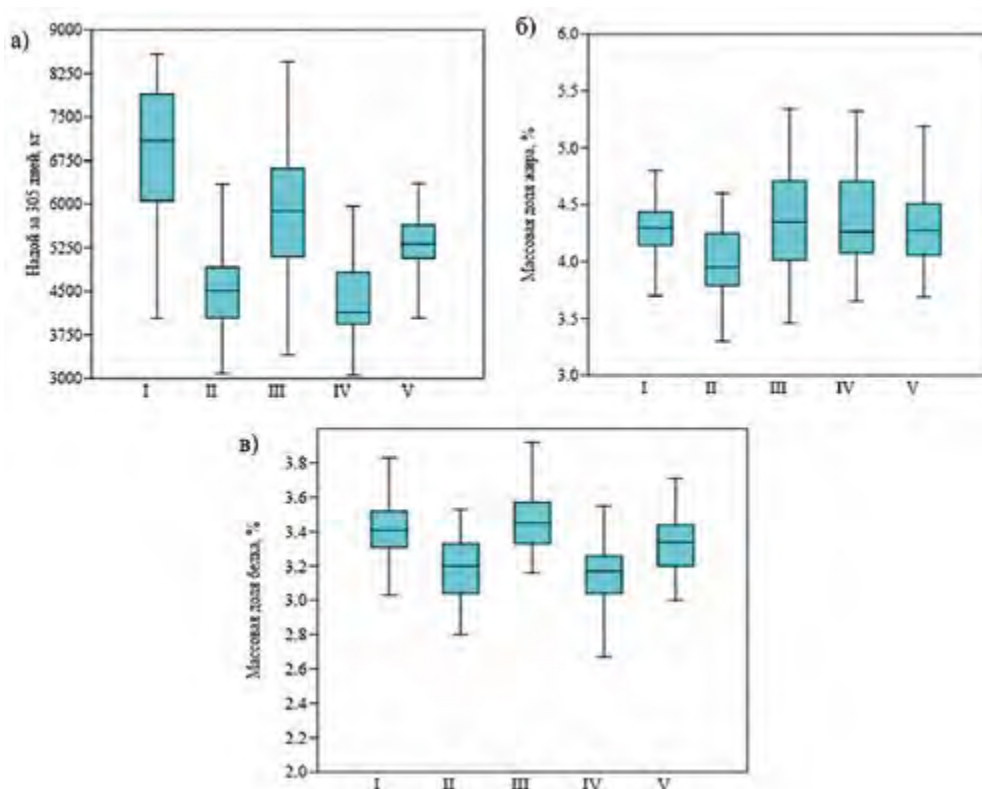
Отрицательные значения индекс фиксации может принимать в случае связи гетерозиготного генотипа с селекционируемыми признаками либо в случае применения в стаде гетерогенного подбора родительских пар. В нашем исследовании наибольшие отрицательные показатели индекса фиксации выявлены по локусу ETH3 в племенном репродукторе IV ($F_{is} = -0,201$), по локусу INRA23 в стаде V ($F_{is} = -0,184$), по локусу TGLA126 в стаде I ($F_{is} = -0,157$) и по локусу ILSTS6 в стаде III ($F_{is} = -0,154$).

Дифферентные значения частот аллелей по локусам в разрезе хозяйств, а также разнонаправленные характеристики генетического разнообразия популяций косвенно подтверждают взаимосвязь STR-маркеров с хозяйственно полезными признаками. На исследуемой выборке были изучены показатели молочной продуктивности по первой лактации. Установлено, что наибольшее количество молока за первые 305 дней лактации получено от коров в племенном заводе I и племенных репродукторах III и V: 6871 кг, 5854 кг

и 5341 кг соответственно (рисунок, а). При этом дисперсия и коэффициент вариации в стадах I и III была выше, чем в стаде V.

Установлено, что наибольшую продуктивность имели первотелки из племенного завода I, которая составила 6871 кг молока ($p < 0,001$), что превышает продуктивность животных других хозяйств на 36,3–14,8 % (см. рисунок, а). Коэффициент вариации показателей надоя находился на среднем уровне во всех стадах ($Cv = 15,9...19,1$ %) за исключением стада V, в котором изменчивость надоя была ниже ($Cv = 9,5$ %), что говорит об однородности выборки и выбраковке животных с крайними левыми значениями.

Показатели массовой доли жира в молоке во всех исследуемых стадах были на уровне породного стандарта и составили от I к V как 4,29, 3,99, 4,36, 4,33 и 4,29 % соответственно (рисунок, б). Наименьшей изменчивостью фенотипов отличались коровы племенного завода I ($Cv = 5,6$ %). В других стадах вариативность массовой доли жира в молоке была выше на 1,7–4,1 п.п.



Показатели молочной продуктивности коров за 305 дней первой лактации: а – надой, кг; б – массовая доля жира, %; в – массовая доля белка, %

Наибольшая массовая доля белка в молоке выявлена у коров племенного завода I и племенного репродуктора III 3,41 и 3,45 % соответственно ($p < 0,05$) (рисунок, в). Положительный эксцесс вариационного ряда в обоих стадах (стадо I $Ex = +0,71$, стадо III $Ex = +0,60$) и более низкий коэффициент вариации (стадо I $Cv = 4,3$ %, стадо III $Cv = 4,8$ %) говорит о направленности отбора в этих стадах в сторону белкомолочности.

ВЫВОДЫ

1. В ходе исследования установлено, что наибольший надой имели первотелки в племенном заводе I (6871 кг), при этом животные этого хозяйства имели схожие генотипы с коровами из других хозяйств. Отличия были лишь в редких аллелях, таких как аллель 179 в локусе CSSM66 и 268 в локусе BM1818. В племенном репродукторе III выявлено наибольшее количество аллелей, которых нет в других стадах, хозяйство отличается высокими качественными показателями молока. От первотелок этого стада получена наибольшая массовая доля жира – 4,36 % и массовая доля белка – 3,45 %.

2. Среднее число наблюдаемой гетерозиготности составило 0,71, а ожидаемой на 0,60 % меньше наблюдаемой. Индекс фиксации по 15 локусам всех исследуемых стад являлся отрицательным ($-0,019$), что свидетельствует об избытке гетерозигот.

3. Полученные данные позволяют контролировать уровень гомозиготности в стадах и учитывать аллельный полиморфизм маточного поголовья при закреплении быков-производителей для получения племенного молодняка и в заказных спариваниях.

Работа выполнена согласно государственному заданию (рег. номер 122041100076-6, номер/шифр FGW-2022-0010) по теме «Разработать селекционную программу и систему по сохранению и рациональному использованию генофонда крупного рогатого скота и овец, направленные на повышение и реализацию генетического потенциала по продуктивности и продолжительности хозяйственного использования».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Голишинская порода в создании улучшенных генотипов и внутривидовых типов крупного рогатого скота* / Н.М. Косяченко, М.В. Абрамова, А.В. Ильина [и др.]. – Ярославль: ООО «Канцлер», 2020. – 157 с.
2. *Происхождение и племенная ценность быков-производителей, от которых получены коровы с рекордной продуктивностью* / О.Л. Хромова, Н.И. Абрамова, М.О. Селимян [и др.], // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 2. – С. 270–280. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-270-280.
3. *Роженцов А.Л.* Влияние кровности и линейной принадлежности на показатели молочной продуктивности коров // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 2. – С. 97–105. – DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-97-105.
4. *Зырянова С.В., Абрамова М.В.* Реализация генетического потенциала коров ярославской породы // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 11. – С. 144–147. – DOI: 10.28983/asj.y2023i11pp144-147.
5. *Genetic Structure Analysis of 155 Transboundary and Local Populations of Cattle (Bos taurus, Bos indicus and Bos grunniens) Based on STR Markers* / E. Solodneva, G. Svishcheva, R. Smolnikov [et. al.] // Int J Mol Sci. – 2023. – Vol. 24, № 5. – P. 5061. – DOI: 10.3390/ijms24055061.
6. *Изучение генетической структуры крупного рогатого скота герефордской породы с применением микросателлитных маркеров* / Е.Г. Насамбаев, И.С. Бейшова, Т.В. Ульянова [и др.] // Наука и образование. – 2023. – № 2–1(71). – С. 74–82. – DOI: 10.52578/2305-9397-2023-2-1-74-82.
7. *Характеристика аллелофонда холмогорской породы крупного рогатого скота с использованием STR-маркеров* / В.В. Волкова, О.С. Романенкова, Т.Е. Денискова [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. – 2019. – № 7. – С. 3–7.
8. *Генетическая структура аборигенного тагильского скота по STR- и SNP-маркерам* / Ю.А. Столповский, С.В. Бекетов, Е.В. Солоднева [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2021. – Т. 56, № 6. – С. 1123–1133. – DOI: 10.15389/agrobiology.2021.6.1123rus.
9. *Investigation of the Genetic Diversity of Dagestan Mountain Cattle Using STR-Markers* / V.V. Volkova, A.S. Abdelmanova, T.E. Deniskova [et al.] // Diversity. – 2022. – № 14(7). – P. 569. – DOI: 10.3390/d14070569.
10. *Genetic Diversity and Population Structure of Taurine Cattle Using STR Markers in Burkina Faso, West Africa* / A. Tapsoba, S. Sawadogo, B. Yougbaré [et al.] // Tropical Animal Science Journal. – 2024. – № 47. – P. 131–140. – DOI: 10.5398/tasj.2024.47.2.131.
11. *Analysis of the relationship between short tandem repeats and lactation performance of Xinjiang Holstein cows* / Y. Li, L. Liu, A. Zunongjiang [et al.] // Trop Anim Health Prod. – 2023. – Vol. 55, № 4. – P. 238. – DOI: 10.1007/s11250-023-03651-y.
12. *Peakall R.O.D., Smouse P.E.* GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research // Molecular ecology notes. – 2006. – Vol. 6, №1. – P. 288–295.
13. *Часовицкова М.А.* Генетическая характеристика голштинской породы крупного рогатого скота с использованием микросателлитных ДНК-маркеров // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 2 (76). – С. 191–193.
14. *Часовицкова М.А.* Генетическая характеристика черно-пестрой породы крупного рогатого скота с использованием микросателлитных маркеров // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2021. – № 1 (62). – С. 64–69. – DOI: 10.34655/bgsha.2021.62.1.009.
15. *Николаев С.В.* Полиморфизм ДНК-микросателлит айрширского скота Республики Коми и Кировской области // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 9. – С. 67–70. – DOI: 10.28983/asj.y2021i9pp67-70.
16. *Каюмов Ф.Г., Третьякова Р.Ф.* Микросателлитный анализ ДНК крупного рогатого скота калмыцкой породы, выращенного в Республике Калмыкия // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4 (102). – С. 261–265. – DOI: 10.37670/2073-0853-2023-102-4-261-265.
17. *Полиморфизм 15 микросателлитных локусов ДНК у крупного рогатого скота калмыцкой породы и аборигенного якутского скота, разводимых на территории Республики Саха (Якутия)* / И.И. Слепцов, В.В. Додохов, Н.И. Павлова [и др.] // Животноводство и кормопроизводство. – 2019. – Т. 102, № 2. – С. 60–67. – DOI: 10.33284/2658-3135-102-2-60.

REFERENCES

1. Kosyachenko N.M., Abramova M.V., Il'ina A.V., Zy'ryanova S.V., Kononov A.V., Kosourova T.N., *Golshtinskaya poroda v sozdaniy uluchshenny'x genotipov i vnutripородny'x tipov krupnogo rogatogo skota* (The Holstein breed in the creation of improved genotypes and intrabreed types of cattle), Yaroslavl': ООО «Kanczler», 2020, 157 p.
2. Xromova O.L., Abramova N.I., Selimyan M.O., Zenkova N.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvenny'j agrarny'j universitet)*, 2024, No. 2, pp. 270–280, DOI: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-270-280. (In Russ.)

3. Rozhenczov A.L., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2020, No. 2, pp. 97–105, DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-97-105. (In Russ.)
4. Zyryanova S.V., Abramova M.V., *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2023, No. 11, pp. 144–147, DOI: 10.28983/asj.y2023i11pp144-147. (In Russ.)
5. Solodneva E., Svishcheva G., Smolnikov R. [et al.], Genetic Structure Analysis of 155 Transboundary and Local Populations of Cattle (*Bos taurus*, *Bos indicus* and *Bos grunniens*) Based on STR Markers, *Int J Mol Sci*, 2023, Vol. 24, No. 5, pp. 5061, Doi: 10.3390/ijms24055061.
6. Nasambaev E.G., Bejshova I.S., Ul'yanova T.V., Chernyaeva S.A., *Nauka i obrazovanie*, 2023, No. 2–1 (71), pp. 74–82, DOI: 10.52578/2305-9397-2023-2-1-74-82. (In Russ.)
7. Volkova V.V., Romanenkova O.S., Deniskova T.E. [i dr.], *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*, 2019, No. 7, pp. 3–7. (In Russ.)
8. Stolpovskij Yu.A., Beketov S.V., Solodneva E.V. [i dr.], *Sel'skoxozyajstvennaya biologiya*, 2021, Vol. 56, No. 6, pp. 1123–1133, DOI: 10.15389/agrobiology.2021.6.1123rus. (In Russ.)
9. Volkova V.V., Abdelmanova A.S., Deniskova T.E. [et al.], Investigation of the Genetic Diversity of Dagestan Mountain Cattle Using STR-Markers, *Diversity*, 2022, Vol. 14, No. 7, pp. 569, DOI: 10.3390/d14070569.
10. Tapsoba A., Sawadogo S., Yougbaré B. [et al.], Genetic Diversity and Population Structure of Taurine Cattle Using STR Markers in Burkina Faso, West Africa, *Tropical Animal Science Journal*, 2024, No. 47, pp. 131–140. 10.5398/tasj.2024.47.2.131.6.
11. Li Y., Liu L., Zunongjiang A. [et al.], Analysis of the relationship between short tandem repeats and lactation performance of Xinjiang Holstein cows, *Trop Anim Health Prod*, 2023, Vol. 55, No. 4, pp. 238, DOI: 10.1007/s11250-023-03651-y.
12. Peakall R.O.D., Smouse P.E., GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research, *Molecular ecology notes*, 2006, Vol. 6, No. 1, pp. 288–295.
13. Chasovshhikova M.A., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, No. 2 (76), pp. 191–193. (In Russ.)
14. Chasovshhikova M.A., *Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii im. V.R. Filippova*, 2021, No. 1 (62), pp. 64–69, DOI: 10.34655/bgsha.2021.62.1.009. (In Russ.)
15. Nikolaev S.V., *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2021, No. 9, pp. 67–70, DOI: 10.28983/asj.y2021i9pp67-70. (In Russ.)
16. Kayumov F.G., Tret'yakova R.F., *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2023, No. 4 (102), pp. 261–265, DOI: 10.37670/2073-0853-2023-102-4-261-265. (In Russ.)
17. Slepcev I.I., Dodoxov V.V., Pavlova N.I., Kayumov F.G., *Zhivotnovodstvo i kormoproduktstvo*, 2019, Vol. 102, No. 2, pp. 60–67, DOI: 10.33284/2658-3135-102-2-60. (In Russ.)

Информация об авторах:

А.В. Ильина, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
 М.В. Абрамова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
 С.В. Зырянова, старший научный сотрудник
 Е.Г. Евдокимов, старший научный сотрудник
 Ю.В. Муштукова, старший научный сотрудник
 Н.В. Приданникова, научный сотрудник
 А.В. Коновалов, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, директор

Contribution of the authors:

A.V. Ilyina, PhD in Agricultural Sciences, Leading Researcher
 M.V. Abramova, PhD in Agricultural Sciences, Leading Researcher
 S.V. Zyryanova, Senior Researcher
 E.G. Evdokimov, Senior Researcher
 Yu.V. Mushtukova, Senior Researcher
 N.V. Pridannikova, Research Associate
 A.V. Kononov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Director

Вклад авторов:

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