

УДК 575.174.015.3

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЯКУТСКОГО СКОТА**Адушинова Анна Николаевна**

Аспирант 1 года обучения

ФГБОУ ВО Арктический государственный агротехнологический университет,

г. Якутск, Россия

E-mail: Anet.ru_95@mail.ru

Филиппова Наталья Павловна

Канд. биол. наук, заведующий лабораторией «Племэксперт»,

Государственное бюджетное учреждение Республики Саха (Якутия) «Сахаагроплем»

г. Якутск, Россия

E-mail: inniah1970@list.ru

Заровняев Степан Иннокентьевич

Зоотехник селекционер

Генофондное казенное предприятие Республики Саха (Якутия) «Якутский скот»

г. Якутск, Россия

E-mail: s-zarovnyaev@mail.ru

Мухленов Очир Сергеевич

Зоотехник 1 категории

Генофондное казенное предприятие Республики Саха (Якутия) «Якутский скот»

г. Якутск, Россия

E-mail: ochirmuhlenov@yandex.ru

Варламов Алексей Александрович

Зоотехник

Генофондное казенное предприятие Республики Саха (Якутия) «Якутский скот»

г. Якутск, Россия

E-mail: Varlamov.aleksey.1991@mail.ru

Аннотация. В республике принимаются меры государственной поддержки хозяйств различных форм собственности, которые способствуют сохранению и увеличению поголовья якутского скота. Благодаря принятым мерам за последние пять лет поголовье якутского скота в ГКП РС (Я) «Якутский скот» увеличилось в 2,5 раза. Выявлено 10 мастей, основными из которых являются черно-пестрая – 43,3%, черная – 21,4%, бело-пестрая – 16,6% и прочие 18,7%. В статье приведены результаты изучения генетической структуры якутского скота ГКП РС (Я) «Якутский скот» (n=366). Для изучения популяционно-генетической структуры якутского скота использовали микросателлитный

анализ по 15-ти STR-локусам. По трем изученным популяциям наиболее вариабельны локусы TGLA53 (11 аллелей), TGLA227 и TGLA122 (8 аллелей), а наименее – BM1818, BM1824, INRA023 (3 аллеля). Наибольшее генетическое разнообразие – отмечено среди скота участка «Сюльдюкар». Обнаружено, что у якутского скота популяций участков «Тастаах» и «Кылыс» наблюдаемая гетерозиготность выше ожидаемой, индекс F_{is} имеет отрицательное значение. В выборке животных участка «Сюльдюкар» наблюдаемая гетерозиготность ($H_o=0,598\pm 0,045$) меньше ожидаемой ($H_e=0,607\pm 0,035$), а индекс F_{is} имеет положительное значение ($F_{is}=0,022\pm 0,035$), что указывает на нехватку гетерозигот и подтверждается фенотипически меньшим разнообразием вариантов окраса скота.

Ключевые слова: якутский скот, масть, полиморфизм, микросателлитный профиль, наблюдаемая гетерозиготность, ожидаемая гетерозиготность, индекс фиксации, полимеразная цепная реакция (ПЦР), STR-локусы.

GENETIC CHARACTERISTICS OF YAKUTIAN CATTLE

Adushinova Anna Nikolaevna

1st year postgraduate student

Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

E-mail: Anet.ru_95@mail.ru

Filippova Natalya Pavlovna

Candidate of Biological Sciences, Head of the "Plemexpert" Laboratory

State Budgetary Institution of the Republic of Sakha (Yakutia) "Sakhaagroplem"

Yakutsk, Russia

E-mail: inniah1970@list.ru

Zarovnyaev Stepan Innokentievich

Livestock breeder

Gene pool state enterprise of the Republic of Sakha (Yakutia) "Yakutian cattle"

Yakutsk, Russia

E-mail: s-zarovnyaev@mail.ru

Mukhlenov Ochir Sergeevich

Zootechnician of 1st category

Gene pool state enterprise of the Republic of Sakha (Yakutia) "Yakutian cattle"

Yakutsk, Russia

E-mail: ochirmukhlenov@yandex.ru

Varlamov Alexey Alexandrovich

Livestock specialist, Gene pool state enterprise of the Republic of Sakha (Yakutia) "Yakutian cattle", Yakutsk, Russia, e-mail: Varlamov.aleksey.1991@mail.ru

Abstract. The republic is taking measures of state support for farms of various forms of ownership, which contribute to the preservation and increase in the number of Yakut livestock. Thanks to the measures taken over the past five years, the number of Yakut cattle in the State Enterprise of the Republic of Sakha (Yakutia) “Yakut Cattle” has increased by 2.5 times. 10 colors were identified, the main ones being black and motley - 43.3%, black - 21.4%, white and motley - 16.6% and others 18.7%. The article presents the results of a study of the genetic structure of Yakut cattle by the Gene pool state enterprise of the Republic of Sakha (Yakutia) “Yakut Cattle” (n=366). To study the population genetic structure of Yakut cattle, microsatellite analysis of 15 STR loci was used. In the three studied populations, the most variable loci are TGLA53 (11 alleles), TGLA227 and TGLA122 (8 alleles), and the least variable are BM1818, BM1824, INRA023 (3 alleles). The greatest genetic diversity was noted among the cattle of the Syuldyukar site. It was found that in the Yakut cattle populations of the “Tastaakh” and “Kylys” areas, the observed heterozygosity is higher than expected, the Fis index has a negative value. In the sample of animals from the “Suldyukar” site, the observed heterozygosity ($H_o=0.598\pm 0.045$) is less than expected ($H_e=0.607\pm 0.035$), and the Fis index has a positive value ($Fis=0.022\pm 0.035$), which indicates a lack of heterozygotes and is confirmed by phenotypically lower diversity livestock color options.

Keywords: Yakut cattle, color, polymorphism, microsatellite profile, observed heterozygosity, expected heterozygosity, fixation index, polymerase chain reaction (PCR), STR loci.

Введение

Якутский скот (*Bos Taurus Turano-mongolicus*) – это малочисленная и исчезающая порода, которая была выведена народной селекцией в суровых условиях Севера [6].

До 1929 года местный якутский крупный рогатый скот разводился в чистоте. В 1917 году его численность составляла 487,49 тыс., а в 1928 г. – около 500 тыс. [2].

Якутский скот представляет собой огромную ценность для селекции крупного рогатого скота благодаря своей высокой приспособленности к экстремальным условиям содержания и разведения, а также высокой жирномолочности, хорошим вкусовым качествам мяса и молока, устойчивости к болезням. Исследование ученых посвящены различным аспектам этой ценной породы, включая генетическое разнообразие, продуктивные качества, устойчивость к неблагоприятным условиям и адаптацию к суровому климату [4,5,12-14]

Для изучения популяционно-генетической структуры местных пород, обладающих уникальными адаптивными признаками и устойчивостью к ряду заболеваний, чаще всего используют микросателлитный анализ либо более

информативный метод полногеномного SNP (single nucleotide polymorphism) генотипирования [8].

Микросателлитный анализ в последние годы все шире рассматривается в качестве альтернативы традиционному иммуногенетическому методу [1,3].

Цель работы: изучить некоторые фенотипические особенности и полиморфизм микросателлитных локусов ДНК крупного рогатого скота якутской породы, разводимой в генофондном хозяйстве ГКП РС(Я) «Якутский скот» (участки «Тастаах» Намского района, «Кылыс» Горного района, «Сюльдюкар» Мирнинского района).

Материалы и методы исследования

Объект исследования – якутский скот генофондного хозяйства ГКП РС (Я) «Якутский скот». Работа выполнена на базе лаборатории ГБУ РС (Я) «Сахаагроплем». Выборка включала 366 голов крупного рогатого скота якутской породы, разводимой в ГКП РС (Я) «Якутский скот», в том числе участки «Тастаах» Намский район (n=162), «Кылыс» Горный район (n=113), «Сюльдюкар» Мирнинский район (n=91).

Аmplификацию материала проводили на термоциклере T100 (Bio-Rad, США) с бумажных носителей (ООО «Гордиз», Россия) используя набор реагентов CorDIS Cattle Direct, в соответствии с рекомендациями производителя.

ПЦР анализ выполнен по 15-ти STR-локусам: BM1818, BM1824, BM2113, CSRM60, CSSM66, ETH10, ETH225, ETH3, ILSTS6, INRA23, SPS115, TGLA122, TGLA126, TGLA227, TGLA53.

Каждый локус оценивали по числу частных и эффективных аллелей, наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности, Fis – коэффициенту, отражающего дефицит или избыток гетерозигот в популяции.

Фрагментный анализ был проведен на генетическом секвенаторе Нанофор-05 (ООО «Синтол», Россия) с применением метода капиллярного электрофореза с детекцией флуоресценции.

Полученные электрофореграммы обрабатывали с помощью программы GeneMapper Software 6 (Thermo Fisher Scientific, США).

Статистическую обработку полученных данных проводили по программному обеспечению «GenALEX» (v.6.5) (Австралия) [15].

Результаты исследований и обсуждение

В республике принимаются меры государственной поддержки хозяйств различных форм собственности, которые способствуют сохранению и увеличению поголовья якутского скота. Благодаря принятым мерам за последние пять лет поголовье якутского скота в ГКП РС (Я) «Якутский скот» увеличилось на 743 головы (в 2,5 раза), в том числе коров – на 241 голову (в 2,3 раза) (табл.1).

Таблица 1. Динамика роста поголовья якутского скота ГКП РС (Я)
«Якутский скот» за 2019-2023 гг.

Показатель	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Поголовье КРС	509	815	967	1171	1252
В т.ч. коровы	186	273	298	345	427

При сохранении пород *in situ* основная задача состоит в том, чтобы не утратить специфические генные комплексы (или сбалансированную систему генов), которые обуславливают фенотипические породные характеристики, связанные с экстерьерными особенностями, продуктивностью, жизнеспособностью, резистентностью животных [9].

Для учета и первичного анализа генетически детерминированных альтернативных дискретных признаков (фенов) Н.В. Тимофеев-Ресовский, А.В. Яблоков (1973) предложили фенетический подход, который помогает эффективнее контролировать сохранение фенотипической и генетической структуры генофонда. Благодаря контролю фенов возможно поддерживать уникальность генофонда породы, что в свою очередь будет способствовать сохранению его генетического разнообразия.

Одним из признаков фенотипа является масть животного. Масть якутского скота довольно разнообразная – от преобладающей черной, бурой, рыжей, красной, тигровой до леопардовой (эбирдээх), но как правило, с белыми отметками, чаще всего на голове и нижней части туловища, а также с белой полосой за лопатками (ала). Значительное количество животных белохребтовое (садьабай). Якутские телята при рождении имеют обычно красную масть, которая после 5-6 месяцев переходит в черную. При этом будущую окраску животного узнают по ресницам. Если ресницы черные, то окраска туловища будет черной, если рыжая, то красной или бурой [7].

У исследованных животных трех популяций выявлено 10 мастей, основными из которых являются черно-пестрая – 43,3%, черная – 21,4%, бело-пестрая – 16,6% и прочие – 18,7%. У якутского скота обнаружено 9 мастей - на участке «Кылыс», 8 – на участке «Тастаах» и 6 – на участке «Сюльдюкар». Редко встречаются масти: леопардовая (3,2%), красная (1,6%), черно-бурая (1,07%), бурая (0,5%), палевая (0,5%). Наибольшее количество животных, имеющих фен – белохребтовость (9,5%) и опоясанность (9,5%) встречается на участке «Кылыс».

Методом ДНК-анализа были определены генотипы 366 животных якутского скота по 15 микросателлитным локусам ДНК: BM1818, BM1824, BM2113, CSRM60, CSSM66, ETH10, ETH225, ETH3, ILSTS6, INRA23, SPS115, TGLA122, TGLA126, TGLA227, TGLA53.

Выявлено, что по вышеперечисленным STR-локусам, поголовье якутского скота имеет различие во внутривидовой структуре.

Всего было идентифицировано 83 аллеля (участок «Тастаах»), 86 аллелей (участок «Кылыс»), 110 аллелей (участок «Сюльдюкар»). Число аллелей на локус колеблется от 3 до 11 (рис.1).

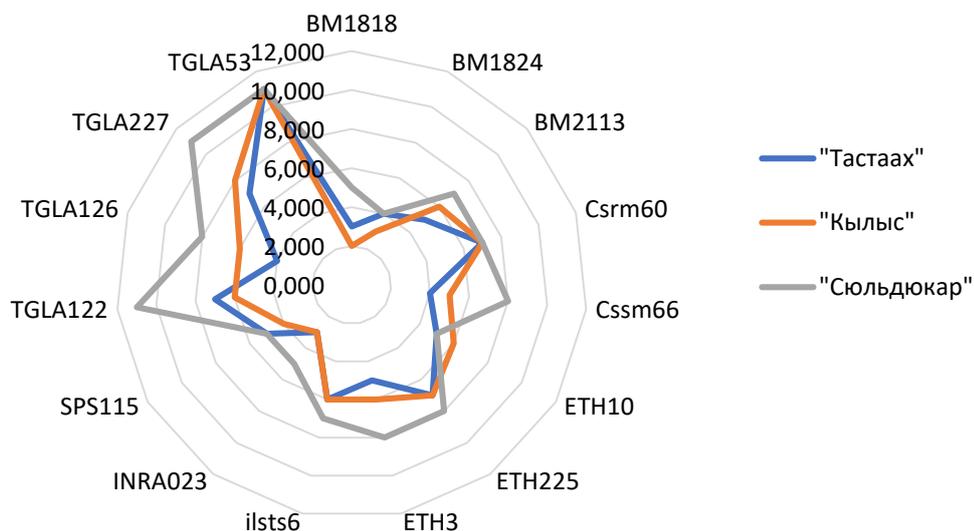


Рис. 1. Число аллелей на локус

Анализ полученных результатов показал, что в исследуемых выборках наблюдается полиморфизм по всем микросателлитным локусам. В целом по трем изученным популяциям наиболее вариабельны локусы TGLA53 (11 аллелей), TGLA227 и TGLA122 (8 аллелей), а наименее – BM1818, BM1824, INRA023 (3 аллеля) (табл.2).

Среднее число эффективных аллелей (N_e) по исследованным локусам составило – $2,724 \pm 0,125$. Максимальное число данного показателя отмечается в локусе TGLA 227 ($4,287 \pm 0,188$), а минимальное - SPS115 ($1,423 \pm 0,019$).

Показатель наблюдаемой гетерозиготности (H_o) по локусам варьировал от $0,282 \pm 0,014$ до $0,806 \pm 0,039$. В отношении значений ожидаемого уровня гетерозиготности максимумом характеризовался локус TGLA53 ($0,766$), а минимальное значение отмечено в локусе SPS115 ($0,297$). Анализ данных показал, что среди 15 изученных STR-локусов только два – ETH3 ($F_{is}=0,000 \pm 0,021$) и ILSTS6 ($F_{is}=0,000 \pm 0,053$) – отличаются близким к равновесному распределению. Локусы TGLA53 ($F_{is}=0,152 \pm 0,058$), SPS115 ($F_{is}=0,051 \pm 0,031$) и TGLA126 ($F_{is}=0,091 \pm 0,115$) отличаются смещением равновесия в сторону недостатка гетерозигот. Во всех остальных случаях наблюдалась различная степень преоблада-

ния показателей наблюдаемой гетерозиготности над ожидаемой, максимальная в локусе CSRM60 ($F_{is} = -0,144 \pm 0,006$).

Таблица 2. Характеристика аллелефонда и параметры генетического разнообразия якутского скота всей популяции ($n=366$) по каждому локусу

Локусы	Na	Ne	Ho	He	Fis
BM1818	3,333±0,882	1,802±0,195	0,453±0,071	0,430±0,069	-0,057±0,030
BM1824	3,667±0,333	1,768±0,045	0,450±0,007	0,434±0,014	-0,041±0,032
BM2113	6±0,577	3,149±0,309	0,728±0,049	0,676±0,033	-0,076±0,034
Csrm60	7±0	2,580±0,203	0,695±0,029	0,608±0,029	-0,144±0,006
Cssm66	5,667±1,202	3,101±0,271	0,674±0,035	0,672±0,030	-0,004±0,036
ETH10	5,333±0,333	2,160±0,156	0,545±0,026	0,532±0,036	-0,029±0,026
ETH225	7,333±0,333	2,949±0,547	0,672±0,099	0,631±0,080	-0,058±0,030
ETH3	6,333±0,882	3,098±0,242	0,674±0,032	0,674±0,024	0,000±0,021
ilsts6	6,333±0,333	3,287±0,190	0,694±0,041	0,694±0,017	0,000±0,053
INRA023	3,667±0,667	2,004±0,132	0,507±0,037	0,497±0,033	-0,020±0,042
SPS115	4,667±0,333	1,423±0,019	0,282±0,014	0,297±0,009	0,051±0,031
TGLA122	8±1,528	3,498±0,291	0,714±0,029	0,710±0,026	-0,008±0,039
TGLA126	6±1,155	3,025±0,362	0,609±0,112	0,658±0,046	0,091±0,115
TGLA227	8,667±1,202	4,287±0,188	0,806±0,039	0,766±0,011	-0,053±0,053
TGLA53	11±0	2,725±0,331	0,532±0,069	0,623±0,043	0,152±0,058

Примечание: Na- количество аллелей на локус, Ne – эффективное число аллелей, Ho, He – наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготность, Fis- индекс фиксации

Для сохранения генетического внутривидового разнообразия большой интерес представляет среднее число аллелей на локус (Na). В целом по трем исследованным популяциям якутского скота невысокий уровень полиморфизма $Na=6,2 \pm 0,343$. Наиболее полиморфной оказалась группа животных участка «Сюльдюкар», в которой $Na=7,333 \pm 0,599$ (табл.3).

Меньшее генетическое разнообразие якутского скота выражается и в малом количестве эффективных аллелей (Ne), среднее значение которого равно $2,724 \pm 0,125$.

Ожидаемая и наблюдаемая степень гетерозиготности, то есть доля гетерозиготных животных в популяции является хорошей предпосылкой генетической изменчивости.

Таблица 3. Характеристика аллелефонда и параметры генетического разнообразия якутского скота

Участок	Na	Ne	Ho	He	Fis
Тастаах (n=162)	5,533±0,533*	2,626±0,208	0,602±0,040	0,579±0,037	-0,037±0,015
Кылыс (n=113)	5,733±0,573*	2,714±0,215	0,606±0,037	0,593±0,036	-0,025±0,018
Сюльдюкар (n=91)	7,333±0,599*	2,831±0,239	0,598±0,045	0,607±0,035	0,022±0,035
Вся популяция (n=366)	6,2±0,343	2,724±0,125	0,602±0,023	0,593±0,020	-0,013±0,014

Примечание: Na-количество аллелей на локус, Ne – эффективное число аллелей, Ho, He – наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготность, Fis- индекс фиксации, *P≥0,99

Существенных различий показателей наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности между изучаемыми популяциями не выявлено. Анализ соответствия наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности показал, что в популяции якутского скота участка «Тастаах» наблюдается избыток гетерозигот по всем локусам, кроме ETH3 (Fis= 0,043), SPS115 (Fis= 0,016) и TGLA53 (Fis= 0,080) (рис. 2).

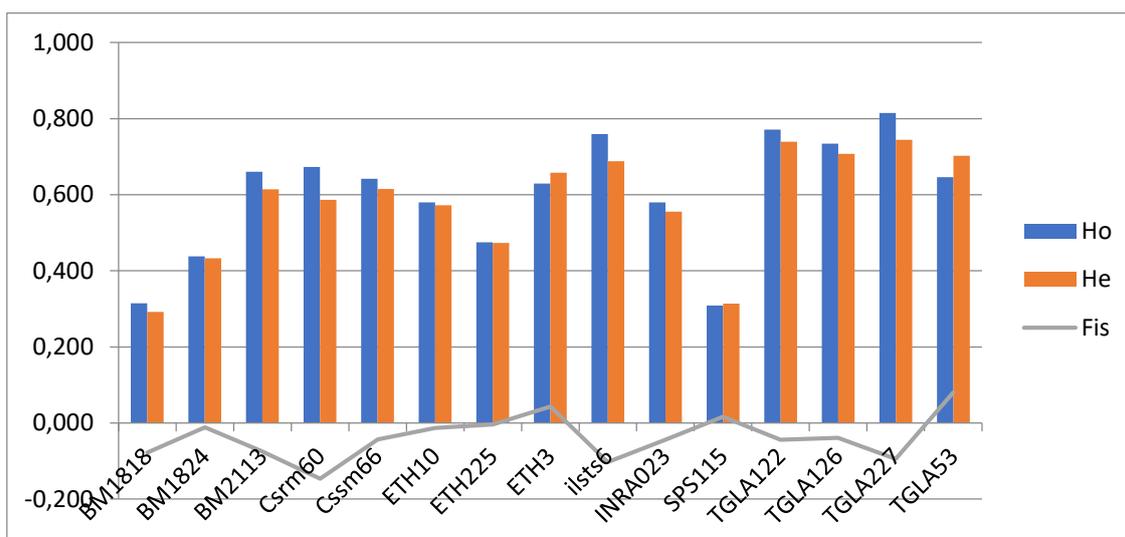


Рис. 2. Уровень наблюдаемой (H_o), уровень ожидаемой (H_e) гетерозиготности и индекс фиксации (Fis) у якутского скота участка «Тастаах»

У животных участка «Кылыс» наблюдается нехватка гетерозигот по пяти локусам BM1818 (Fis= 0,003), ILSTS6 (Fis= 0,072), SPS115 (Fis= 0,024), TGLA227 (Fis= 0,052) и TGLA53 (Fis= 0,108) (рис.3).

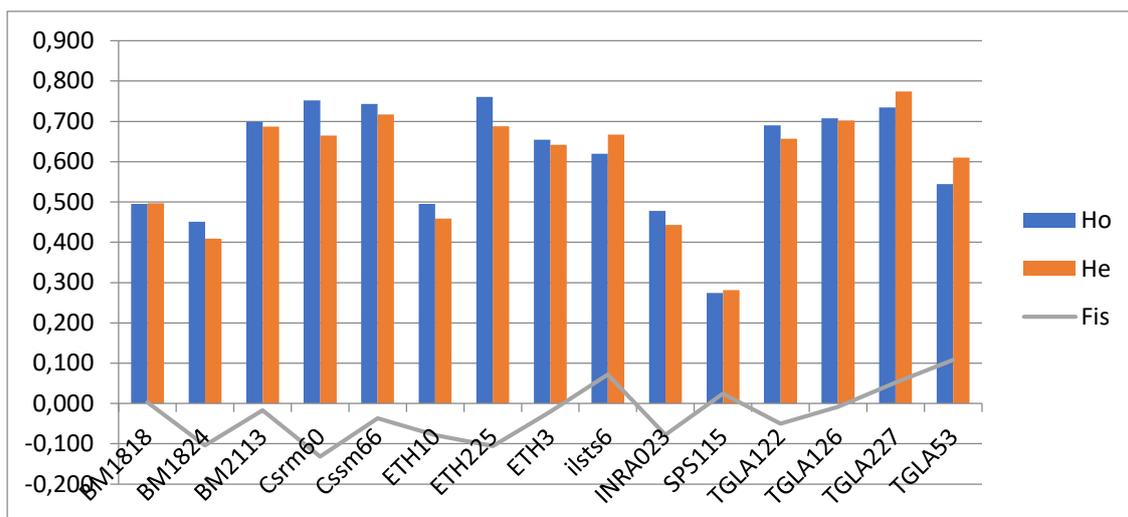


Рис. 3. Уровень наблюдаемой (H_o), уровень ожидаемой (H_e) гетерозиготности и индекс фиксации (F_{is}) у якутского скота участка «Кылыс»

На основе анализа индекса фиксации выяснили, что у якутского скота участка «Сюльдюкар» наблюдается нехватка гетерозигот по восьми локусам: CSSM66 ($F_{is}=0,069$), ETH10 ($F_{is}=0,005$), ILSTS6 ($F_{is}=0,031$), INRA23 ($F_{is}=0,061$), SPS115 ($F_{is}=0,112$), TGLA122 ($F_{is}=0,070$), TGLA126 ($F_{is}=0,320$) и TGLA53 ($F_{is}=0,267$) (рис.4).

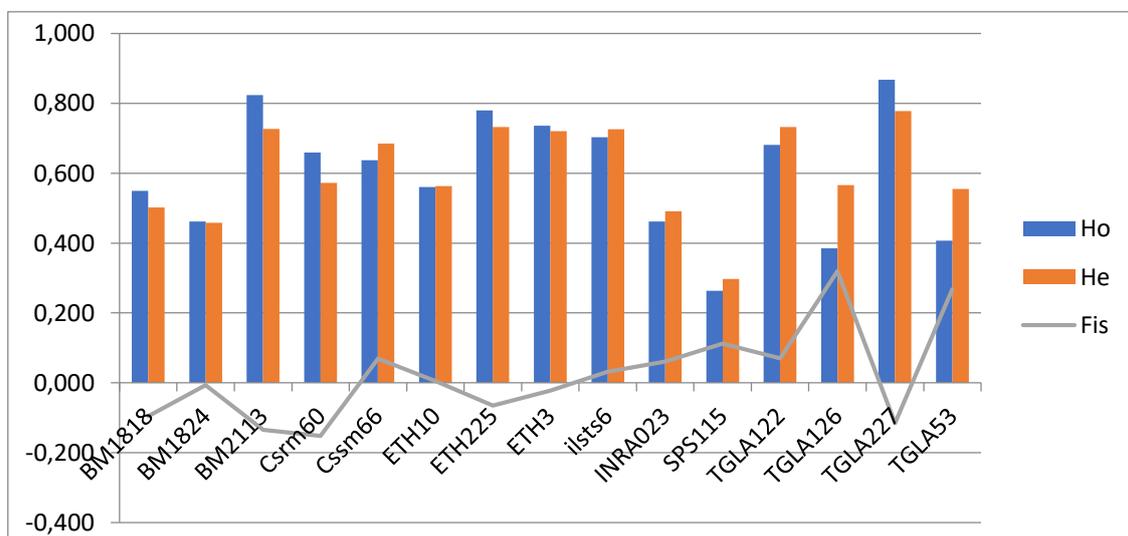


Рис. 4. Уровень наблюдаемой (H_o), уровень ожидаемой (H_e) гетерозиготности и индекс фиксации (F_{is}) у якутского скота участка «Сюльдюкар»

Выводы

На основании проведенных исследований полиморфизма микросателлитных локусов трех популяций крупного рогатого скота якутской породы, разводимых в ГКП РС (Я) «Якутский скот» по 15-ти микросателлитным локусам установлено,

что поголовье якутского скота имеет различие по STR-локусам во внутривидовой структуре. Анализ полученных результатов показал, что в исследуемых выборках наблюдается полиморфизм по всем микросателлитным локусам.

В целом по трем изученным популяциям наиболее вариабельны локусы TGLA53 (11 аллелей), TGLA227 и TGLA122 (8 аллелей), а наименее – BM1818, BM1824, INRA023 (3 аллеля).

При анализе показателей N_a ($6,2 \pm 0,343$) и N_e ($2,724 \pm 0,125$) выявлен низкий уровень полиморфизма во всех трех изучаемых популяциях. Относительно более высокое генетическое разнообразие наблюдается среди скота участка «Сюльдюкар»: среднее количество аллелей было максимальным среди исследованных групп $N_a = 7,333 \pm 0,599$ ($P \geq 0,99$), количество эффективных аллелей $N_e = 2,831 \pm 0,239$.

Существенных различий показателей наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности между изучаемыми популяциями не выявлено. Однако, в популяциях участков «Тастаах» и «Кылыс» наблюдаемая гетерозиготность выше ожидаемой, а индекс F_{is} имеет отрицательное значение, то есть система случайного скрещивания преобладает над инбридингом (таб.3). В выборке животных участка «Сюльдюкар» наблюдаемая гетерозиготность ($H_o = 0,598 \pm 0,045$) меньше ожидаемой ($H_e = 0,607 \pm 0,035$), а индекс F_{is} имеет положительное значение ($F_{is} = 0,022 \pm 0,035$), что указывает на нехватку гетерозигот и подтверждается фенотипически меньшим разнообразием вариантов окраса скота.

Литература

1. Аржанкова Ю.В., Мосачихина И.А., Харитонов А.В. Генетические особенности черно-пестрого и помесного крупного рогатого скота по микросателлитным локусам / Ю.И. Аржанкова, И.А. Мосачихина, А.В. Харитонов // Известия Великолукской ГСХА. – 2015. – № 1. – С. 7–11.
2. Ахременко А.К., Ахременко Я.А. Замолвим слово о якутской корове / А.К. Ахременко, Я. А. Ахременко // Наука и техника в Якутии. – 2020. – № 2 (39). – С. 25-27.
3. Кабицкая Я.А., Каланшикова Л.А., Бойко Е.Г., Калашников А.Е. Генетическая идентификация как критерий совпадений с данными первичного учета животных на территории УФО / Я.А. Кабицкая, Л.А. Калашникова, Е.Г. Бойко, А.Е. Калашников // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 1 (45). – С. 114–120. DOI:10.36508/RSATU.2020.45.1.020
4. Попов Р.Г., Попова Н.В. Адаптационные особенности якутской породы скота / Р.Г. Попов., Н.В. Попова // Ветеринария и кормление. 2022. № 4. С. 48-51.
5. Попов Р.Г., Попова Н.В. Полиморфизм белков молока и крови якутской породы скота / Р.Г. Попов., Н.В. Попова // Вестник КрасГАУ. 2021. № 7 (172). С. 92-99.

6. Попов, Р.Г. Проблема сохранения и использования генофонда якутского скота/Р.Г. Попов, Н.В. Попова // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 6 – С. 150–158. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-150-159
7. Романов П.А. Совершенствование крупного рогатого скота в Якутии. Якутск, - Якутск: Кн. изд-во, 1978. -152 с.
8. Столповский Ю.А., Бекетов С.В., Солоднева Е.В., Абсаликов В.М., Абдельманова А.С., Гладырь Е.А., Зиновьева Н.А. Генетическая структура аборигенного тагильского скота по STR- и SNP-маркерам/ Ю.А. Столповский, С.В. Бекетов, Е.В. Солоднева, В.М. Абсаликов, А.С. Абдельманова, Е.А. Гладырь, Н.А. Зиновьева // Сельскохозяйственная биология. – 2021. – Том 56. – № 6. – с. 1111-1122.
9. Столповский Ю.А. Концепция и принципы генетического мониторинга для сохранения in situ пород доместцированных животных / Ю.А. Столповский // Сельскохозяйственная биология. – 2010. – №6– с. 3-8.
10. Тимофеев-Ресовский Н.В., Яблоков А.В. Фены, фенетика и эволюционная биология // Природа, 1973. № 5. С. 40–51.
11. Тимофеев-Ресовский Н.В., Яблоков А.В., Глотов Н.В. Очерк учения о популяции. – М.: Наука, 1973. – 277 с.
12. Филиппова Н.П., Павлова Н.И., Корякина Л.П., Степанов Н.П., Мордовской Н.Н., Григорьева Н.Н. Микросателлитный анализ якутского скота / Н.П. Филиппова., Н.И. Павлова., Л.П. Корякина., Н.П. Степанов., Н.Н. Мордовской., Н.Н. Григорьев // Животноводство и кормопроизводство. - 2018. Т. 101. № 4. С. 58-63.
13. Чернов С.Г., Целуйко И.Г., Питимко С.И. Проблема сохранения аборигенной якутской породы крупного рогатого скота / С.Г. Чернов., И.Г. Целуйко., С.И. Питимко // Культура. Наука. Производство. 2022. № 9. С. 71-77.
14. Чугунов А.В. К проблеме охраны генофонда якутского скота /А.В. Чугунов // Региональные вопросы развития сельского хозяйства Якутии. Сборник статей научно-практической конференции. 2018. С. 189-191.
15. Peakall R., Smouse P.E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update // Bioinformatics. 2012. Vol. 28. P. 2537-2539.