

// Institut razvitiia selskogo khoziaistva. Federalnyi nauchno-prakticheskii zhurnal. Spetsvyпуск «Veterinariia», «Effektivnoe zhivotnovodstvo», «Pishchevaia industriia», sentiabr 2020. S. 78-81.

8. Normativnye pravovye dokumenty, reglamentiruiushchie platnye veterinarnye uslugi / B.N. Balyberdin, L.Ia. Iushkova, Iu.I. Smolianinov [i dr.] // Veterinariia i kormlenie. – 2021. – No. 4. – S. 8-11. – DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2021-4-2.

9. Novye vidy veterinarnykh uslug i rastsenki na ikh vypolnenie / L.Ia. Iushkova, N.A. Donchenko, A.S. Donchenko / XIII Mezhdunarodnaia nauchnaia konferentsiia of world science (zarubezhnyi status konferentsii), Briussel (SShA, Niu-Iork) 30.03.2021. Sb. S.-111-115.

10. Platnye veterinarnye uslugi, osushchestvliemye uchrezhdeniiami Gosudarstvennoi veterinarnoi sluzhby Irkutskoi oblasti / L. Ia. Iushkova, B. N. Balyberdin, Iu. I. Smolianinov [i dr.] // Tendentsii razvitiia nauki i obrazovaniia. – 2021. – No. 79-3. – S. 165-169. – DOI 10.18411/trnio-11-2021-136.

11. Ekonomicheskaiia effektivnost veterinarnykh meropriiatii v usloviakh obshcherossiiskikh reform 2010-2020 godov / L.Ia. Iushkova, Iu.I. Smo-

lianinov, N.A. Donchenko [i dr.] // Mezhdunarodnaia ekonomika. – 2021. – No. 11. – S. 870-897. – DOI 10.33920/vne-04-2111-05.

12. Izuchit sovremennye vidy veterinarnykh работ obiektov podkontrolnykh gosvetsluzhbe i osushchestvit khronometrazh vremeni ne-obkhodimoe dlia ikh vypolneniia: otchet o NIR za 2021 g. / SFNTsA RAN In-t eksperim. veterinarii Sibiri i Dalnego Vostoka. – Krasnoobsk [Novosib. obl.], 2021. – 25 s. pril. reg. N IKRBS 2220203003479.

13. Platnye veterinarnye uslugi, osushchestvliemye gosudarstvennoi veterinarnoi sluzhboi Irkutskoi oblasti: metodicheskie rekomendatsii / Balyberdin B.N., Smolianinov, Iu.I., Iushkova L.Ia., Donchenko N.A., Silkin I.I. – Novosibirsk, 2022. – 63 s.

14. Meropriiatia po zashchite ot boleznei obshchikh dlia cheloveka i zhivotnykh v Irkutskoi oblasti // Smolianinov Iu.I., Donchenko, N.A., Donchenko A.S., Meltsov I.V. / Mezhdunarodnaia nauchno- prakticheskaiia konferentsiia «Aktualnye problemy lecheniia i profilaktika boleznei molodniaka», Vitebsk, 02-04 noiabria 2023 goda. El. sbornik www.vsavm.by. S.439-444.



УДК 636.32/.38

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-238-8-64-72

Т.Н. Хаамируев, Г.М. Гончаренко, С.М. Дашинимаев,
Т.С. Хорошилова, Н.Б. Гришина, О.Л. Халина
T.N. Khamiruev, G.M. Goncharenko, S.M. Dashinimaev,
T.S. Khoroshilova, N.B. Grishina, O.L. Khalina

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ОВЕЦ РАЗНЫХ ПОРОД СИБИРСКО-ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА

GENETIC STRUCTURE OF SHEEP OF DIFFERENT BREEDS OF SIBERIAN AND FAR EASTERN REGION

Ключевые слова: овца, генотип, порода, популяция, аллель, частота, полиморфизм, гомозиготность, изменчивость, генетические дистанции.

Цель представленных исследований состояла в сравнительной оценке генетической структуры овец Сибирско-Дальневосточного региона с использованием генов *GDF9/G1*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3*. Изучены 5 пород овец: забайкальская порода хангильского типа (ЗТХ), кулундинская тонкорунная (КУЛ), западно-сибирская мясная (ЗСМ), зугалайский тип агинской породы (АГЗ), порода буубэй (БУБ). Определены сход-

ство и различие между породами, даны популяционно-генетическая характеристика стад, их дифференцированность и филогенетические взаимоотношения. Установлено, что у всех пород овец преобладающими были генотипы *GDF9/G1^{GG}* и *CAST^{MM}*, редко встречаемые альтернативные генотипы *GDF9/G1^{AA}* и *CAST^{NN}*. Все породы, за исключением ЗСМ, характеризовались высокой частотой генотипа *KRT1.2^{MM}* (более 74%). По соотношению генотипов в гене *KAP1.3* породы имели вариативность. Наиболее высокая частота генотипа *KAP1.3^{XX}* (61,0%) выявлена в породе ЗТХ, самая низкая – в БУБ (26,7%). Из всех изученных пород наиболее

оригинальный профиль имеет ЗСМ. Она отличается пониженной частотой генотипа $GDF9/G1^{GG}$ – на 22,6-25,6%, $CAST^{MM}$ – на 10,0-21,2%, $KRT1.2^{MM}$ – на 40,7-62,5% в сравнении с другими породами. Генное равновесие в стадах не нарушено, χ^2 находится в пределах 0,0007-1,1335, уровень ожидаемой гетерозиготности совпадает с наблюдаемой. Коэффициент гомозиготности (C_a) в породах варьирует от 60,1 до 69,9%; число эффективных аллелей (N_{aj}) – 2,47-3,27; уровень полиморфности (PIC) – 0,193-0,389. Наиболее высокий индекс генетического сходства (r) выявлен между АГЗ и КУЛ (0,992), наиболее низкий – 0,858, между породой БУБ и ЗСМ. Кластерный анализ показал, что КУЛ, АГЗ и БУБ образуют два рядом стоящие кластера, наиболее отдаленная от всех пород – ЗСМ.

Keywords: sheep, genotype, breed, population, allele, frequency, polymorphism, homozygosity, variability, genetic distances.

The research goal was comparative evaluation of the genetic structure of sheep of Siberian and Far Eastern region using the genes $GDF9/G1$, $CAST$, $KRT1.2$, and $KAP1.3$. The following 5 sheep breeds were studied: Trans-Baikal breed of the Khangil type (TBKh), Kulunda fine-wool breed (KUL), West Siberian mutton breed (WSM), Aginskaya breed of the Zugalay type (AGZ), and

the Buubei breed (BUB); the similarities and differences between the breeds were determined, population and genetic characteristics of the herds were given, their differentiation and phylogenetic relationships were defined. It was found that in all sheep breeds, the prevailing genotypes were $GDF9/G1^{GG}$ and $CAST^{MM}$, with rare alternative genotypes $GDF9/G1^{AA}$ and $CAST^{NN}$. All breeds, with the exception of WSM, were characterized by a high frequency of the $KRT1.2^{MM}$ genotype (more than 74%). Regarding the ratio of genotypes in the $KAP1.3$ gene, the breeds had variability. The highest frequency of the $KAP1.3^{XX}$ genotype (61.0%) was found in the TBKh breed, the lowest - in the BUB (26.7%). Of all the studied breeds, the WSM has the most original profile. It is distinguished by a reduced frequency of the $GDF9/G1^{GG}$ genotype by 22.6-25.6%, $CAST^{MM}$ - by 10.0-21.2%, $KRT1.2^{MM}$ - by 40.7-62.5% as compared to other breeds. The gene balance in the herds is not disturbed, χ^2 is in the range of 0.0007-1.1335; the level of expected heterozygosity coincides with the observed one. The coefficient of homozygosity (C_a) in breeds varies from 60.1 to 69.9%; number of effective alleles (N_{aj}) - 2.47-3.27; level of polymorphism (PIC) - 0.193-0.389. The highest genetic similarity index (r) was found between AGZ and KUL (0.992), the lowest - 0.858, between the BUB and WSM breeds. Cluster analysis showed that KUL, AGZ and BUB form two adjacent clusters, and the most distant from all breeds is WSM.

Хамируев Тимур Николаевич, к.с.-х.н., доцент, вед. науч. сотр., НИИ ветеринарии Восточной Сибири – филиал, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, г. Чита, Российская Федерация, e-mail: tnik0979@mail.ru.

Гончаренко Галина Моисеевна, д.б.н., гл. науч. сотр., Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, п. Краснообск, Новосибирская обл., Российская Федерация, e-mail: gal.goncharenko@mail.ru.

Дашинимаев Солбон Мункуевич, к.с.-х.н., ст. науч. сотр., НИИ ветеринарии Восточной Сибири – филиал, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, г. Чита, Российская Федерация, e-mail: solbonmd@mail.ru.

Хорошилова Татьяна Сергеевна, к.б.н., ст. науч. сотр., Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, п. Краснообск, Новосибирская обл., Российская Федерация, e-mail: tatagoryacheva@mail.ru.

Гришина Наталья Борисовна, к.б.н., ст. науч. сотр., Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, п. Краснообск, Новосибирская обл., Российская Федерация, e-mail: natalja.grishina@gmail.com.

Халина Ольга Леонидовна, науч. сотр., Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, п. Краснообск, Новосибирская обл., Российская Федерация, e-mail: halinaolga@mail.ru.

Khamiruev Timur Nikolaevich, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Leading Researcher, Research Veterinary Institute of East Siberia, Branch, Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnologies of Russian Academy of Sciences, Chita, Russian Federation, e-mail: tnik0979@mail.ru.

Goncharenko Galina Moiseevna, Dr. Bio. Sci., Chief Researcher, Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnologies of Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation, e-mail: gal.goncharenko@mail.ru.

Dashinimaev Solbon Munkuevich, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Senior Researcher, Research Veterinary Institute of East Siberia, Branch, Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnologies of Russian Academy of Sciences, Chita, Russian Federation, e-mail: solbonmd@mail.ru.

Khoroshilova Tatyana Sergeevna, Cand. Bio. Sci., Assoc. Prof., Senior Researcher, Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnologies of Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation, e-mail: tatagoryacheva@mail.ru.

Grishina Natalya Borisovna, Cand. Bio. Sci., Assoc. Prof., Senior Researcher, Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnologies of Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation, e-mail: natalja.grishina@gmail.com.

Khalina Olga Leonidovna, Researcher, Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnologies of Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation, e-mail: halinaolga@mail.ru.

Введение

Современный генофонд овец Сибирско-Дальневосточного региона сложился под влиянием предшествующего генезиса и приспособленности животных к местным условиям разных природно-климатических зон. В настоящее время активно ведутся исследования по изучению генетического разнообразия пород сельскохозяйственных животных с использованием различных типов генетических маркёров, связанных с продуктивными признаками или адаптационными свойствами. У овец перспективное значение имеют гены, оказывающие влияние на энергию роста, продуктивность и качественные показатели мяса и шерсти.

Ген дифференциального фактора роста *GDF9* рассматривается в качестве маркёра воспроизводительной способности и энергии роста молодняка овец. В российских породах овец он имеет некоторую полиморфную вариативность [1-3].

Ген *CAST* позиционируется как маркёр качества мяса после убоя, такой его характеристики, как нежность, что особенно важно в условиях современного повышенного спроса на качественную баранину. Исследования показали довольно сходную генотипическую структуру этого гена в российских породах и некоторые отличия от азиатских пород овец [4-6]. Прогнозную оценку качества шерсти овец связывают с генами *KRT1.2*, *KAP1.3*, контролирующими синтез белков кератиновых волокон. Полиморфизм этих генов у овец разных пород имеет отличительные особенности [7-9].

Следовательно, идентификация и использование функциональных генов ДНК могут иметь достаточно высокую эффективность в селекции овец при прогнозировании признаков продуктивности, особенно тех, которые не могут быть оценены прижизненно (качество мяса) или со слабым уровнем наследования. Кроме того, генотипическая структура стада, рассчитанная на основе частоты генотипов и аллелей, может использоваться для характеристики селекционных процессов, их мониторинга и возможной корректировки в целях снижения гомозиготности и инбридинга.

Цель исследования заключалась в определении генотипической структуры овец с использованием полиморфных генов *GDF9/G1*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3*, в сравнительной оценке популяционно-генетических параметров и взаимоот-

ношений разных пород Сибирско-Дальневосточного региона.

Объект и методы

Исследования проводились на 5 породах овец общей численностью 588 гол., в том числе забайкальская порода, хангильский тип – (ЗТХ, $n=100$), кулундинская тонкорунная – (КУЛ, $n=190$), западно-сибирская мясная – (ЗСМ, $n=138$), агинская порода, зугалайский тип – (АГЗ, $n=100$), буубэй – (БУБ, $n=60$).

Материалом для лабораторных исследований служили ушные выщипы овец, из которых выделяли геномную ДНК с применением сертифицированного набора экстракции из клинического материала «Ампли Прайм ДНК-Сорб-С» по прописи изготовителя ООО «НекстБио» (Москва). ПЦР анализ проводили на ДНК-амплификаторе С 1000 Touch Thermal Cycler «BioRad» (Singapore). ПДРФ анализ осуществляли с добавлением эндонуклеаз производства (СибЭзим, г. Новосибирск) в агарозном геле с добавлением бромистого этидия с использованием документирующей системы E-Box-CX5.TS-20.M (Франция). Генотипирование для генов *CAST*, *GDF9*, *KRT1.2*, *KAP 1.3* осуществляли согласно описанным и апробированным методикам ПЦР-ПДРФ [6, 10, 11]. При этом использовали эндонуклеазы рестрикции производства СибЭзим: *Msp I* (*CAST* и *KRT1.2*), *Bse1I* (*KAP1.3*) и *BstHI* (*GDF9*).

Частотную характеристику генотипов изучаемых генов оценивали по формуле Харди-Вайнберга для двух аллельных систем с использованием критерия χ^2 . Определение коэффициента гомозиготности (C_a) популяции, число эффективных аллелей (N_a), степень генетической изменчивости (V), меры информационного полиморфизма (PIC) выполнены в соответствии с рекомендациями [12].

Результаты исследований и их обсуждение

Генетическое разнообразие исследованных пород по генам *GDF9/G1*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* представлено в таблице 1. Доминирующим генотипом в породах был генотип *DF9/G^{GG}*, частота которого составляет 68,8-93,0%, что можно объяснить его селективной ценностью в качестве маркёра энергии роста молодняка. Обращает внимание отсутствие генотипа *GDF9/G^{1AA}* у четырёх пород: КУЛ, БУБ, ЗТХ и АГЗ, в породе ЗСМ этот генотип выявлен на уровне 4,4%.

Генотипическая структура по генам *GDF9/G1*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* овец разных пород Сибирско-Дальневосточного региона

Генотип	ЗТХ, n=100	КУЛ, n=190	ЗСМ, n=138	АГЗ, n=100	БУБ, n=60
<i>GDF9/G1^{AA}</i>	0,0±0,0	0,0±0,0	4,4±1,7	0,0±0,00	0,0±0,00
<i>GDF9/G1^{AG}</i>	7,0±2,6	9,5±2,1	28,3±3,8	10,0±3,0	10,0±3,9
<i>GDF9/G1^{GG}</i>	93,0±2,6	90,5±2,1	67,4±4,0	90,0±3,0	90,0±3,9
<i>CAST^{MM}</i>	82,0±3,8	78,9±3,0	68,8±3,9	86,0±3,5	90,0±3,9
<i>CAST^{MN}</i>	17,0±3,8	20,0±2,9	28,3±3,8	13,0±3,4	10,0±3,9
<i>CAST^{NN}</i>	1,0±0,9	1,1±0,8	2,9±1,4	1,0±1,0	0,0±0,0
<i>KRT1.2^{MM}</i>	74,0±4,4	95,8±1,5	33,3±4,0	87,0±3,4	91,7±3,6
<i>KRT1.2^{MN}</i>	24,0±4,3	4,2±1,5	47,1±4,3	13,0±3,4	8,3±3,6
<i>KRT1.2^{NN}</i>	2,0±1,4	0,0±0,0	19,6±3,4	0,0±0,0	0,0±0,0
<i>KAP1.3^{XX}</i>	61,0±4,9	42,6±3,6	36,2±4,1	34,0±4,7	26,7±5,7
<i>KAP1.3^{XY}</i>	36,0±4,8	45,3±3,6	45,7±4,2	44,0±5,0	46,6±6,4
<i>KAP1.3^{YY}</i>	3,0±1,7	12,1±2,4	18,1±3,3	22,0±4,1	26,7±5,7

Примечание. Здесь и далее: ЗТХ – забайкальская порода, хангильский тип; КУЛ – кулундинская порода; ЗСМ – западно-сибирская мясная порода; АГЗ – агинская порода, зугалайский тип; БУБ – порода буубэй.

При этом следует отметить довольно значимые отличия по частоте многих генотипов ЗСМ от других пород. Так, в этой породе частота генотипа *GDF9/G1^{GG}* составляет 67,4%, что ниже 22,6-25,6%, по сравнению с другими породами ($p \leq 0,001$). Численность животных с генотипом *GDF9/G1^{AA}* составляет 4,4%. Более близкие результаты по генотипической структуре породы ЗСМ по этому гену получены в исследованиях овец прикатунского типа горноалтайской породы, где соотношение генотипов AA:AG:GG представлено как 0,10:0,35:0,55 [1]. Несколько иные результаты получены при характеристике татарстанской породы, где доля гомозиготного генотипа *GDF9/G1^{GG}* составляет 79%, остальные два генотипа встречаются практически с равной частотой – 10 и 11% [2]. У помесей калмыцкой курдючной породы и шароле гомозиготный генотип *GDF9^{GG}* выявлен у 67,7% животных, 29,4% имели генотип *GDF9^{AG}* и лишь 2,9% – *GDF9^{AA}* [13].

Анализируемые породы имеют некоторые различия по частоте генотипов *CAST*. Тонкорунные породы ЗТХ и КУЛ характеризуются схожей частотой генотипов *CAST* и отличаются от полугрубошерстной АЗГ и грубошерстной БУБ. Частота гетерозиготного генотипа *CAST^{MN}* в полугрубошерстных породах составляет 10,0 и 13,0%, против 17,0 и 20,0% в тонкорунных ($p \leq 0,05$). Установлены также различия по частоте гетерозиготного генотипа между породами ЗСМ и АГЗ на уровне 15,3% ($p \leq 0,01$). ЗСМ характеризуется более низким на 10,0-21,2% со-

держанием генотипа *CAST^{MM}* (68,8%), чем другие сравниваемые породы ($p \leq 0,001$; $p \leq 0,01$).

Наши данные совпадают с результатами исследований породы российский мясной меринос, у которых генотип *CAST^{MM}* выявлен у 80% и *CAST^{MN}* – 20% животных [14]. Аналогичная частота генотипов выявлена также в волгоградской породе овец (*CAST^{MM}* – 70,0 и *CAST^{MN}* – 30%) [15]. По сообщению [6], в иранской породе овец Zandi преобладающим генотипом также был генотип AA (60,0%), на долю гетерозиготного генотипа приходилось 36,0%, гомозиготного BB – 4,0%.

Практический интерес представляет также гены *KRT1.2* и *KAP1.3*, ассоциированные с качественными показателями шерсти, длиной штапеля, прочностью, тониной, величиной настрига. В исследованных нами породах выявлена значительная вариативность по частоте генотипов этих генов. Все породы, за исключением ЗСМ, характеризуются высокой частотой гомозиготного генотипа *KRT1.2^{MM}* – 74,0-95,8%, тогда как альтернативный генотип *KRT1.2^{NN}* встречается крайне редко.

Получены аналогичные результаты [16]. Установлено, что в кавказской, эдильбаевской, черноземельный меринос, грозненской тонкорунной породах частота генотипа *KRT1.2^{MM}* составляет 0,76-0,84, при этом альтернативный генотип *KRT1.2^{NN}* во всех породах встречается крайне редко или отсутствует. Исключение в наших исследованиях представляет ЗСМ, в которой наблюдается следующее соотношение

генотипов: $KRT1.2^{MM}:KRT1.2^{MN}:KRT1.2^{NN}$ – 33,3:47,1:19,6.

При анализе полиморфизма гена $KAP1.3$ наблюдается иная вариативность генотипов. ЗТХ характеризуется наиболее высокой частотой генотипа $KAP1.3^{XX}$ – 61,9%, превышающей на 18,4-34,3% другие сравниваемые породы ($p \leq 0,001$). Самая низкая его частота выявлена в грубошерстной породе БУБ – 26,7%. В исследованных нами породах следует отметить и высокую вариативность частот генотипа $KAP1.3^{YY}$ – от 0,00 (БУБ) до 22,0% (ЗТХ).

По генотипу $KAP1.3$ российские породы характеризуются полиморфным разнообразием. Так, в грозненской тонкорунной породе частота генотипа $KAP1.3^{XX}$ составляет 25,0%, тогда как в другой тонкорунной породе – дагестанской горной его имеют 69,0% животных. Однако частота альтернативного генотипа $KAP1.3^{YY}$ не превышает 11%, за исключением грозненской тонкорунной породы, где он находится на уровне 25,0% [17].

По аллельному профилю овцы имеют отличия как между породами одного направления продуктивности, так и разного (табл. 2). Наиболее значимые различия выявлены между овцами ЗСМ и другими сравниваемыми породами по аллелю $GDF9/G1^A$, которые характеризуются более высокой его встречаемостью, на 0,135-0,150 ($p \leq 0,001$). Овцы этой породы имеют также пониженную частоту аллеля $CAST^M$ и, соответственно, более высокую – альтернативного аллеля $CAST^N$, на 0,059-0,095 ($p \leq 0,001$; $p \leq 0,05$). При этом следует отметить, что у овец ЗСМ наблюдается более низкая частота аллеля $KRT1.2^M$, в сравнении с другими изучаемыми породами, на 0,291-0,410 ($p \leq 0,001$).

Среди тонкорунных пород выявлены различия по частоте аллелей генов $KRT1.2$ и $KAP1.3$. Тонкорунная КУЛ характеризуется повышенной частотой аллеля $KRT1.2^M$ и более низкой – аллеля $KAP1.3^X$ в сравнении с ЗТХ тонкорунной породой на 0,119 и 0,137 ($p \leq 0,001$; $p \leq 0,01$).

Таблица 2

Частоты аллелей по генам $GDF9/G1$, $CAST$, $KRT1.2$, $KAP1.3$ овец разных пород Сибирско-Дальневосточного региона

Аллель	ЗТХ, n=100	КУЛ, n=190	ЗСМ, n=138	АГЗ, n=100	БУБ, n=60
$GDF9/G1^A$	0,035±0,013	0,047±0,011	0,185±0,023	0,050±0,015	0,050±0,020
$GDF9/G1^G$	0,965±0,013	0,953±0,011	0,815±0,023	0,950±0,015	0,950±0,020
$CAST^M$	0,905±0,020	0,889±0,016	0,830±0,023	0,925±0,019	0,950±0,020
$CAST^N$	0,095±0,020	0,111±0,016	0,170±0,023	0,075±0,019	0,050±0,020
$KRT1.2^M$	0,860±0,024	0,979±0,007	0,569±0,030	0,935±0,017	0,958±0,018
$KRT1.2^N$	0,140±0,024	0,021±0,007	0,431±0,030	0,065±0,017	0,042±0,018
$KAP1.3^X$	0,790±0,028	0,653±0,024	0,591±0,030	0,560±0,035	0,500±0,050
$KAP1.3^Y$	0,210±0,028	0,347±0,024	0,409±0,030	0,440±0,035	0,500±0,050

Исследуемые породы находятся в состоянии равновесия, χ^2 колеблется в пределах от 0,0007 до 1,1335, инбридинга в стаде не наблюдается, индекс фиксации (Fis) имеет отрицательное или слабо положительное значение. Уровень наблюдаемой гетерозиготности соответствует ожидаемой (табл. 3).

Один из важных показателей для дальнейшего планирования селекционных мероприятий – коэффициент гомозиготности. Нашими исследованиями установлено, что гомозиготность стад овец разных пород имеет вариативность. Более низкая гомозиготность наблюдается у овец ЗСМ – 9,1%, что может быть следствием недавно проведенных скрещиваний. Наиболее высокая гомозиготность 18,0% определена в стаде овец породы БУБ, на уровень которой, по-видимому,

оказал фактор замкнутости стада (табл. 4). Соответственно, в этих породах наблюдается крайние показатели N_{aj} и PIC . Число эффективных аллелей (N_{aj}) и полиморфность (PIC) в породе ЗСМ составляет 3,27 и 0,389 против 2,47 и 0,193 в породе БУБ. Остальные сравниваемые породы занимают среднее положение.

Подтверждением большего различия между породой БУБ и ЗСМ может служить матрица генетических расстояний, которая показывает, что индекс генетического сходства (r) между ними находится на уровне 0,858, тогда как более высокое генетическое сходство на уровне 0,992 выявлено между АГЗ и КУЛ тонкорунной породы (табл. 5). Возможно, данный факт можно объяснить происхождением и направлением селекции изучаемых популяций овец.

Таблица 3
Оценка гомо- и гетерозиготности
исследуемых пород овец

Показатель	GDF9/G1	CAST	KRT1.2	KAP1.3
ЗТХ				
Observe (Hobs)	7	17	24	36
Expected (Hex)	6,76	11,50	24,1	33,18
Индекс Fis	-0,036	-0,478	+0,004	-0,084
χ^2	0,1135	0,0135	0,0058	0,7130
КУЛ				
Observe (Hobs)	9	20	4,1	45,3
Expected (Hex)	9,05	19,8	4,12	45,53
Индекс Fis	-0,006	-0,005	-0,005	+0,005
χ^2	0,4776	0,0562	0,0947	0,0007
АГЗ				
Observe (Hobs)	10	13	13	44
Expected (Hex)	9,50	13,87	12,15	49,28
Индекс Fis	-0,052	+0,063	-0,068	+0,107
χ^2	0,2267	0,3149	0,4543	1,1335
ЗСМ				
Observe (Hobs)	33,5	28,2	49	48,3
Expected (Hex)	30,41	28,4	51,3	48,64
Индекс Fis	-0,102	-0,007	+0,045	+0,007
χ^2	0,5316	0,0002	0,2220	0,4287
БУБ				
Observe (Hobs)	6	10	5	28
Expected (Hex)	5,7	5,7	4,83	30,0
Индекс Fis	-0,052	-0,754	-0,035	+0,066
χ^2	0,1159	0,1159	0,1085	0,2666

Таблица 4
Параметры
популяционно-генетического разнообразия
пород Сибирско-Дальневосточного региона

Порода	SH, %	V, %	N_{aj}	PIС
АГЗ	13,9	67,3	2,53	0,212
ЗТХ	10,6	66,8	2,51	0,200
БУБ	18,0	63,6	2,47	0,193
КУЛ	15,7	60,1	2,48	0,195
ЗСМ	9,1	69,9	3,27	0,389

Генетические особенности стада овец ЗСМ хорошо демонстрирует рисунок, в котором эта порода образует свой кластер. При этом следует отметить, что КУЛ, АГЗ и БУБ образуют два рядом стоящие кластера, что может быть следствием более высокой частоты генотипов, собственных селекционным формам, созданным на основе аборигенных пород (рис.).

Выявленные генетические особенности и анализ генотипической структуры стад их популяционно-генетических параметров показали генетическое разнообразие пород, связанных с их генезисом и дальнейшей селекцией.

Матрица генетических расстояний

Таблица 5

DN \ r	ЗТХ	КУЛ	ЗСМ	АГЗ	БУБ
ЗТХ		0,974±0,008	0,908±0,017	0,972±0,012	0,963±0,017
КУЛ	0,026±0,008		0,862±0,021	0,992±0,006	0,988±0,009
ЗСМ	0,096±0,018	0,148±0,021		0,887±0,022	0,858±0,032
АГЗ	0,028±0,012	0,008±0,006	0,119±0,023		0,988±0,009
БУБ	0,037±0,017	0,012±0,009	0,153±0,033	0,011±0,009	

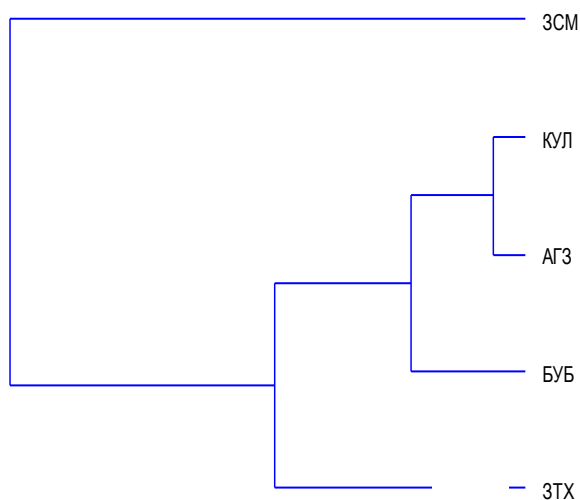


Рис. Дендрограмма генетических дистанций между породами овец

Заключение

Установлена генотипическая структура 5 пород овец Сибирско-Дальневосточного региона: забайкальская порода, хангильский тип; кулундинская тонкорунная; западно-сибирская мясная; агинская порода зугалайский тип; буубэй по генам *GDF9/G1*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3*, которая сложилась в результате длительной селекции на улучшение живой массы, энергии роста молодняка, шерстной продуктивности и адаптированности к местным условиям разведения. Полученные результаты по популяционно-генетической характеристике пород могут быть уточнены или скорректированы при использовании в анализе других систем генетических маркеров, например, микросателлитов, не связанных с селекционно-значимыми признаками и не испытывающих давление отбора.

Библиографический список

- Selionova, M., Podkorytov, N. (2021). Polymorphism of the gene *GDF9* in sheep of Prikatun type of Altai Mountains breed and its correlation with indices of meat rate productivity. *Theory and Practice of Meat Processing*. 6. 4-9. DOI: 10.21323/2414-438X-2021-6-1-4-9.
- Полиморфизм генов соматотропина (*GH*), кальпастина (*CAST*), дифференциального фактора роста (*GDF 9*) у овец татарстанской породы / В. П. Лушников, Т. О. Фетисова, М.И. Селионова [и др.]. – Текст: непосредственный // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2020. – № 1. – С. 2-4.
- Ozdemirov, A., Chizhova, L., Khozhokov, A., et al. (2021). Polymorphism of genes *CAST*, *GH*, *GDF9* of sheep of the Dagestan mountain breed. *South of Russia: Ecology, Development*. 16. 39-44. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-39-44.
- Широкова, Н. В. Мясная продуктивность овец эдильбаевской породы разных генотипов по гену *CAST* / Н. В. Широкова, И. Г. Казарова. – Текст: непосредственный // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (71). – С. 170-173.
- Koloso, Yu., Gorlov, I., Kolosov, A., et al. (2021). Determination of *CAST* gene polymorphism in sheep of the Volgograd breed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 677. 052112. DOI: 10.1088/1755-1315/677/5/052112.
- Khederzadeh, S., Iranmanesh, M., Motamedi-Mojdehi, R. (2016). Genetic diversity of myostatin and calpastatin genes in Zandi sheep. *Journal of Livestock Science and Technologies*, 4, 45-52. DOI: 10.22103/JLST.2016.1381.
- Sulayman, A., Tursun, M., Sulaiman, Y., et al. (2018). Association analysis of polymorphisms in six keratin genes with wool traits in sheep. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31 (6), 775–783. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0349>.
- Chai, W., Zhou, H., Gong, H., et al. (2019). Nucleotide variation in the ovine *KRT31* promoter region and its association with variation in wool traits in Merino-cross lambs. *The Journal of Agricultural Science*. 157. 1-7. DOI: 10.1017/S0021859619000406.
- Singh V.P., Taggar R.K., Chakraborty D., et al. (2022). *KRT 1.2* gene polymorphism and its association with wool traits in Rambouillet sheep. *The Pharma Innovation Journal*. 11(6S): 2619-2621.
- Hanrahan, J. P., Gegan, S. M., Mulsant, P., et al. (2004). Mutations in the genes for oocyte-derived growth factors *GDF9* and *BMP15* are associated with both increased ovulation rate and sterility in Cambridge and Belclare sheep (*Ovis aries*). *Biology of Reproduction*, 70 (4), 900–909. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.103.023093>.
- Kumar, R., Meena, A., Kumari, R., et al. (2016). Polymorphism of *KRT 1.2* and *KAP 1.3* Genes in Indian Sheep Breeds. *Indian Journal of Small Ruminants*. 22. 28. DOI: 10.5958/0973-9718.2016.00018.0.
- Чесноков, Ю. В. Оценка меры информационного полиморфизма генетического разнообразия / Ю. В. Чесноков, А. М. Артемьева. – DOI 10.15389/agrobiology.2015.5.571rus – Текст: непосредственный // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50, № 5. – С.571-578.
- Погодаев В. А. Полиморфизм комплексных генотипов генов *CAST*, *GH*, *GDF9* у баранов породы шароле и молодняка с кровностью 1/2 калмыцкая курдючная×1/2 шароле в зависимости от живой массы и экстерьерных показателей / В. А. Погодаев, Е. С. Суржикова, Д. Д. Евлагина. – DOI 10.37670/2073-0853-2023-103-5-332-339. – Текст: непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 5 (103). – С. 332-339.
- Полиморфизм генов кальпастина (*CAST*), соматотропина (*GH*), дифференциального фактора роста (*GDF9*) у овец породы российский мясной меринот от межлинейного спаривания баранов линии ME-50 и овцематок линии AC-30 / Н. А. Резун, Е. Н. Чернобай, Д. Д. Евлагина. – DOI 10.31279/222-9345-2023-

13-50-30-34. – Текст: непосредственный // Аграрный вестник Северного Кавказа. – 2023. – № 2 (50). – С. 30-34.

15. Бакоев, Н. В. Полиморфизм гена CAST у овец волгоградской породы и его связь с продуктивными признаками / Н. В. Бакоев, Л. В. Гетманцева. – Текст: непосредственный // Повышение конкурентоспособности животноводства и задачи кадрового обеспечения: материалы XXV Международной научно-практической конференции, Подольск, пос. Быково, 24-25 июня 2019 г. / Российская академия менеджмента в животноводстве. – Подольск, пос. Быково, 2019. – С. 438-441.

16. Полиморфизм гена KAP 1.3 у отечественных пород овец разного направления продуктивности / Р. Ю. Сенина, Л. А. Калашникова, В. П. Лушников [и др.]. – Текст: непосредственный // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2019. – № 4. – С. 10-12.

17. Полиморфизм гена KRT 1.2 у отечественных пород овец разного направления продуктивности / Р. Ю. Сенина, Л. А. Калашникова, В. П. Лушников [и др.]. – Текст: непосредственный // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2018. – № 3. – С. 20-23.

References

1. Selionova, M., Podkorytov, N. (2021). Polymorphism of the gene GDF9 in sheep of Prikatun type of Altai Mountains breed and its correlation with indices of meat rate productivity. *Theory and Practice of Meat Processing*. 6. 4-9. DOI: 10.21323/2414-438X-2021-6-1-4-9.

2. Polimorfizm genov somatotropina (GH), kalpastatina (CAST), differentsialnogo faktora rosta (GDF 9) u ovets tatarstanskoi porody / Lushnikov V.P., Fetisova T.O., Selionova [i dr.] // Ovttsy,kozy, sherstianoe delo. – 2020. – No. 1. – S. 2-4.

3. Ozdemirov, A., Chizhova, L., Khozhokov, A., et al. (2021). Polymorphism of genes CAST, GH, GDF9 of sheep of the Dagestan mountain breed. *South of Russia: Ecology, Development*. 16. 39-44. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-39-44.

4. Shirokova N.V. Miasnaia produktivnost ovets edilbaevskoi porody raznykh genotipov po genu CAST / N.V. Shirokova, I.G. Kazarova // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – 2022 – No. 4 (71) – S. 170-173.

5. Kolosov, Yu., Gorlov, I., Kolosov, A., et al. (2021). Determination of CAST gene polymorphism in sheep of the Volgograd breed. *IOP Conference*

Series: Earth and Environmental Science. 677. 052112. DOI: 10.1088/1755-1315/677/5/052112.

6. Khederzadeh, S., Iranmanesh, M., Motamedi-Mojdehi, R. (2016). Genetic diversity of myostatin and calpastatin genes in Zandi sheep. *Journal of Livestock Science and Technologies*, 4, 45-52. DOI: 10.22103/JLST.2016.1381.

7. Sulayman, A., Tursun, M., Sulaiman, Y., et al. (2018). Association analysis of polymorphisms in six keratin genes with wool traits in sheep. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31 (6), 775–783. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0349>.

8. Chai, W., Zhou, H., Gong, H., et al. (2019). Nucleotide variation in the ovine KRT31 promoter region and its association with variation in wool traits in Merino-cross lambs. *The Journal of Agricultural Science*. 157. 1-7. DOI: 10.1017/S0021859619000406.

9. Singh V.P., Taggar R.K., Chakraborty D., et al. (2022). KRT 1.2 gene polymorphism and its association with wool traits in Rambouillet sheep. *The Pharma Innovation Journal*. 11(6S): 2619-2621.

10. Hanrahan, J. P., Gregan, S. M., Mul-sant, P., et al. (2004). Mutations in the genes for oocyte-derived growth factors GDF9 and BMP15 are associated with both increased ovulation rate and sterility in Cambridge and Belclare sheep (*Ovis aries*). *Biology of Reproduction*, 70 (4), 900–909. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.103.023093>.

11. Kumar, R., Meena, A., Kumari, R., et al. (2016). Polymorphism of KRT 1.2 and KAP 1.3 Genes in Indian Sheep Breeds. *Indian Journal of Small Ruminants*. 22. 28. DOI: 10.5958/0973-9718.2016.00018.0.

12. Chesnokov Iu.V. Otsenka mery informatsionnogo polimorfizma geneticheskogo raznoobrazia / Iu.V. Chesnokov, A.M. Artemeva // Selskokhoziaistvennaia biologii. – 2015. – T. 50. No. 5. – S. 571-578. DOI: 10.15389/agrobiol.2015.5.571rus.

13. Pogodaev V.A. Polimorfizm kompleksnykh genotipov genov CAST, GH, GDF9 u baranov porody sharole i molodniaka s krovnostiu 1/2 kalmytskaia kurdiuchnaia × 1/2 sharole v zavisimosti ot zhivoi massy i eksterernykh pokazatelei / V.A. Pogodaev, E.S. Surzhikova, D.D. Evlagina // Izvestiia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – No. 5 (103) – S. 332-339. DOI: 10.37670/2073-0853-2023-103-5-332-339.

14. Polimorfizm genov kalpastatina (CAST), somatotropina (GH), differentsialnogo faktora rosta (GDF9) u ovets porody rossiiskii miasnoi merinos ot

mezhlaininogo sparivaniia baranov linii ME-50 i ovtsematok linii AS-30. / N.A. Rezun, E.N. Chernobai, D.D. Evlagina // Agrarnyi vestnik Severnogo Kavkaza – 2023. – No. 2 (50). – S.30-34. DOI: 10.31279/222-9345-2023-13-50-30-34.

15. Bakoev N.V. Polimorfizm gena CAST u ovets volgogradskoi porody i ego sviaz s produktivnymi priznakami / N.V. Bakoev, L.V. Getmantseva // Povyshenie konkurentosposobnosti zhivotnovodstva i zadachi kadrovogo obespecheniia. Materialy XXV mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Rossiiskaia akademiia menedzhmenta v zhivotnovodstve. Podolsk, pos. Bykovo, 24–25 iunია 2019 g. – S. 438-441.

16. Polimorfizm gena KAP 1.3 u otechestvennykh porod ovets raznogo napravleniia produktivnosti / R.Iu. Senina, L.A. Kalashnikova, V.P. Lushnikov [i dr.] // Ovtsy, kozy, sherstianoe delo. – 2019. – No. 4. – S. 10-12.

17. Polimorfizm gena KRT 1.2 u otechestvennykh porod ovets raznogo napravleniia produktivnosti / R.Iu. Senina, L.A. Kalashnikova, V.P. Lushnikov [i dr.] // Ovtsy, kozy, sherstianoe delo. – 2018. – No. 3 – S. 20-23.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФ № 23-26-00014.

