

Сельскохозяйственный журнал. 2023. № 4 (16). С. 86-95
Agricultural journal. 2023; 16 (4). P. 86-95

Зоотехния и ветеринария

Научная статья

УДК 591.151: 636.32/.38.082.13

DOI 10.48612/FARC/2687-1254/009.4.16.2023

ПОЛИМОРФИЗМ ГЕНА *KAR 1.3* ОВЕЦ РАЗНЫХ ПОРОД

Закир Камилович Гаджиев, Владимир Аникеевич Погодаев,

Евгения Семёновна Суржикова, Дарья Дмитриевна Евлагина

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», 356241, Ставропольский край, Шпаковский район, г. Михайловск, ул. Никонова, 49.

E-mail: immunogenetika@yandex.ru

Аннотация. На сегодняшний день является актуальным использование молекулярно-генетических методов для отбора животных с высококачественными показателями продуктивности, в том числе шерстной. Ген *KAR 1.3* по результатам многих исследований ассоциирован с тониной, настригом, длиной и прочностью волокон, следовательно, выявление распределений генотипов данного гена у овец разных пород открывает возможность изучения наличия ассоциаций между показателями шерстной продуктивности и полиморфизмом гена. В связи с вышеизложенным целью настоящих исследований заключалась в изучении и анализе полиморфизма гена *KAR 1.3* у овец различных пород, разводимых в разных регионах России. Исследование проводилось для выявления генетических вариаций гена *KAR 1.3* в 4 породах овец с использованием метода ПЦР-ПДРФ. В качестве биоматериала была использована цельная кровь животных, из которой была выделена ДНК. Объект исследования – овцы дагестанской горной ($n = 36$) и андийской ($n = 10$) пород, разводимые в КФХ «Салам-А» Гунибского района Республики Дагестан; помеси овец с кровностью $\frac{1}{2}$ калмыцкая курдючная + $\frac{1}{2}$ шароле ($n = 34$) из КФХ «Арл» Яшкульского района и черноземельский меринос ($n = 18$) ОАО племзавода «Черноземельский» Черноземельского района Республики Калмыкии. Анализ полиморфизма гена *KAR 1.3* выявил наличие 2 аллелей *KAR 1.3^X*, *KAR 1.3^Y* и 3 генотипов: гомозиготные варианты – *KAR 1.3^{XX}*, *KAR 1.3^{YY}* и гетерозиготный – *KAR 1.3^{XY}*. Полученные результаты показали следующую тенденцию: у всех изученных пород распределение генотипов характеризуется высокой частотой встречаемости – от 50,0 до 66,4 % – гомозиготных животных с генотипом *KAR 1.3^{XX}*, поскольку аллель *KAR 1.3^X* была наиболее часто встречаемой. Методами генетико-статистического анализа дана оценка генетической структуры овец разных пород. Тест гетерозиготности оказался отрицательным во всех изучаемых выборках с вариабельностью от минус 0,10 до минус 0,87, что свидетельствует о недостатке гетерозигот в исследуемых выборках. Выявленный полиморфизм изучаемого ДНК-маркера представляет возможность для дальнейших исследований в шерстном направлении, что позволяет более тщательно отбирать и проводить селекционно-племенную работу с овцами изучаемых пород.

Ключевые слова: полиморфизм, ПЦР-ПДРФ, овцы, гены, *KAR*

Для цитирования: Гаджиев З.К., Погодаев А.В., Суржикова Е.С., Евлагина Д.Д. Полиморфизм гена *KAP 1.3* овец разных пород // Сельскохозяйственный журнал. 2023. № 4 (16). С.86-95. DOI 10.48612/FARC/2687-1254/009.4.16.2023

Zootechny and veterinary

Original article

POLYMORPHISM OF THE *KAP 1.3* GENE IN SHEEP OF DIFFERENT BREEDS

Zakir K. Gadzhiev, Vladimir A. Pogodaev, Evgeniia S. Surzhikova, Daria D. Evlagina
FSBSI “North Caucasus Federal Agricultural Research Centre” 356241, Stavropol Territory, Shpakovsky District, Mikhailovsk, Nikonov Str., 49. E-mail: immunogenetika@yandex.ru

Abstract. Nowadays, it is relevant to use molecular genetic methods for the selection of animals with high-quality productivity characteristics, including wool. According to the results of many studies, the *KAP 1.3* gene is associated with fineness, shearing, length and strength of fibers. Therefore, the identification of genotype distributions of this gene in sheep of different breeds gives the possibility of studying the presence of associations between wool productivity parameters and gene polymorphism. In connection with the above, the purpose of the research was to study and analyze the polymorphism of the *KAP 1.3* in sheep of various breeds, which were bred in different regions of Russia. The study was conducted to identify genetic variations of the *KAP 1.3* gene in four sheep breeds using the PCR-RFLP method. Animal DNA, which was isolated from the whole blood, was used as a biomaterial. The object of the study was sheep of Dagestan Mountain ($n = 36$) and Andian ($n = 10$) breeds, which were bred at the peasant farm enterprise “Salam-A” in Gunibsky District of the Republic of Dagestan; crossbreeds of sheep with a pedigree of $\frac{1}{2}$ Kalmyk fat-tailed + $\frac{1}{2}$ Charollais ($n = 34$), from the peasant farm enterprise “ArI” of the Yashkulsky District and Chernozemelsky Merino ($n = 18$) of OAO (OJSC) breeding farm “Chernozemelsky” of the Chernozemelsky District of the Republic of Kalmykia. The analysis of the polymorphism of the *KAP1.3* gene revealed the presence of two alleles *KAP 1.3^X*, *KAP 1.3^Y* and three genotypes: homozygous variants – *KAP 1.3^{XX}*, *KAP 1.3^{YY}* and heterozygous – *KAP 1.3^{XY}*. The obtained results showed such a tendency that in all the studied breeds, the distribution of genotypes was characterized by a high frequency of occurrence from 50,0 to 66,4% of homozygous animals with the genotype *KAP 1.3^{XX}*, since the allele *KAP 1.3^X* was the most frequently encountered. The genetic structure of sheep of different breeds was evaluated by methods of genetic and statistical analysis. The heterozygosity test turned out to be negative in all the studied samples with a variability from minus 0,10 to minus 0,87, which indicated a lack of heterozygotes in the studied samples. The revealed polymorphism of the studied DNA marker presents an opportunity for further research in the wool production, which allows for more careful selection and breeding of sheep of the studied breeds.

Key words: polymorphism, PCR-RFLP, sheep, genes, *KAP*

For citation: Gadzhiev Z.K., Pogodaev A.V., Surzhikova E.S., Evlagina D.D. Polymorphism of the *KAP 1.3* gene in sheep of different breeds // Agricultural Journal. 2023. No. 4 (16). P.86-95. DOI 10.48612/FARC/2687-1254/009.4.16.2023

Введение. Каждый вид животных обладает своими уникальными характеристиками шерсти, обусловленными их генетическими особенностями. Возможно присутствие различий в шерсти в пределах одного вида, так как подвиды имеют разные адаптации к своей среде обитания [1, 2]. У разных видов животных шерсть может отличаться по своей структуре, тонине, длине, плотности и извитости. Например, у некоторых животных она густая и непроницаемая, чтобы защищать их от холода и влаги, в то время как у других – более тонкая и мягкая. Это привело к разнообразию внешних особенностей шерсти у разных пород. Известно, что шерсть мериносовых овец славится своей нежностью и мягкостью, а шерсть горных овец способна быть более грубой и крученой [3,4].

Шерсть, в отличие от синтетических волокон, проявляет более высокую степень изменчивости – это особенность её структуры и состава, позволяющая шерсти принимать и сохранять различные формы, а также обеспечивающая уникальные свойства [5].

Анализ качества овечьей шерсти требует учёта нескольких критериев, таких как тонина, длина, прочность, насыщенность цвета и другие. Селекционеры, отвечающие за выбор лучших овец, нацелены на соблюдение установленных стандартов каждого из указанных параметров, и для достижения этой цели им приходится приложить значительные усилия [6, 7]. Одним из подходов к повышению эффективности селекционной работы является использование ДНК-маркеров, позволяющих осуществлять отбор животных по генотипу непосредственно на уровне ДНК [8].

Семейство генов KRT (keratins) отвечает за кодирование кератиновых волокон, в то время как так называемые матриксные белки представлены обширным семейством генов KAP (keratin associated proteins). Идентификация полиморфизмов этих генов и их связи с диаметром волокон будет полезна в программах разведения овец для отбора животных в раннем возрасте [9].

Ген *KAP 1.3*, ранее известный как B2C, расположен на 11 хромосоме. Впервые его полиморфизм был определён Rogers G.R. в 1993 году. Во многих исследованиях [10, 11, 12] сообщалось о полиморфизме семейств генов KAP, также были проведены исследования, связывающие вариации в локусах кератина и KAP с изменением диаметра волокна, прочности, а также цвета шерсти [11].

Возможно, в развитии овцеводства и селекционно-племенной работы вопрос идентификации полиморфизма данного гена и его ассоциации с шерстной продуктивностью животных в зависимости генотипа будет приоритетным.

В связи с вышеизложенным цель настоящих исследований заключалась в изучении полиморфизма гена *KAP 1.3* и его анализе у овец различных пород, разводимых в разных регионах России.

Материал и методы исследований. Исследования проводились в лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологий ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ».

Объект исследования – овцы дагестанской горной ($n = 36$) и андийской ($n = 10$) пород, разводимые в КФХ «Салам-А» Гунибского района Республики Дагестан; овцы кровностью $\frac{1}{2}$ калмыцкая курдючная + $\frac{1}{2}$ шароле ($n = 34$), выращенные в КФХ «Арл» Яшкульского района и овцы черноземельской породы ($n = 18$) ОАО племзавода «Черноземельский» Черноземельского района Республики Калмыкии.

Биологическим материалом являлась геномная ДНК животных, выделенная из цельной крови с использованием набора реагентов Diatom™ DNA Prep 100. Для анализа выявления полиморфизма гена *KAP 1.3* применяли метод ПЦР-ПДРФ. Амплифика-

цию фрагмента ДНК проводили на специальном четырехканальном термоциклере, известном как «Терцик», с использованием специфических праймеров (таблица 1).

Таблица 1

Последовательность олигонуклеотидных праймеров

Ген	Праймеры	Амплификат, (п.н.)	Т °С, отжига
<i>KAP 1.3</i>	F: 5'-GGGTGGAACAAGCAGACCAAACCTC-3'	598	65
	R: 5'-TAGTTTGTGGGACTGTACACTGGC-3'		

Полученные ампликоны подвергали рестрикции ферментом *Bse*II. С помощью УФ-света и метода горизонтального гель-электрофореза в двухпроцентном агарозном геле, содержащем бромистый этидий, определяли длину и количество фрагментов рестрикции. Длину полученных фрагментов вычисляли с использованием маркера молекулярного веса.

Статистическая обработка полученных результатов исследования проводилась с применением стандартного набора формул при помощи специализированной программы Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение. В результате ПЦР был амплифицирован фрагмент гена *KAP 1.3* длиной 598 п.н. Рестрикция данного фрагмента с помощью эндонуклеазы *Bse*II позволила идентифицировать 3 варианта генотипов (рисунок 1).



Рисунок 1. Электрофореграмма рестриктных фрагментов гена *KAP 1.3*:
1 – ДНК-маркер 50 бп (Изоген); 3, 4, 6, 8, 9 – генотип XX (350 и 225 п.н.);
2, 5 – генотип YY (309 и 225 п.н.); 7 – генотип XY (350, 309 и 225 п.н.)

Анализ полиморфизма гена *KAP 1.3* выявил наличие 2 аллелей *KAP 1.3^X*, *KAP 1.3^Y* и 3 генотипов: *KAP1.3^{XX}*, *KAP1.3^{YY}* – гомозиготные варианты и *KAP1.3^{XY}* – гетерозиготный.

При обсуждении полученных результатов анализа аллельного профиля гена *KAP 1.3* у овец разных пород, было установлено, что аллель *KAP 1.3^X* имеет практически одинаковую частоту (0,60 и 0,69) в выборках особей помесей с кровностью ½ калмыцкая курдючная + ½ шароле и черноземельской пород. Превалирующее значение (0,78)

частоты встречаемости аллели $KAP\ 1.3^X$ выявлено в выборке овец дагестанской горной породы, а наименьшее значение (0,55) отмечено у андийской (рисунок 2).

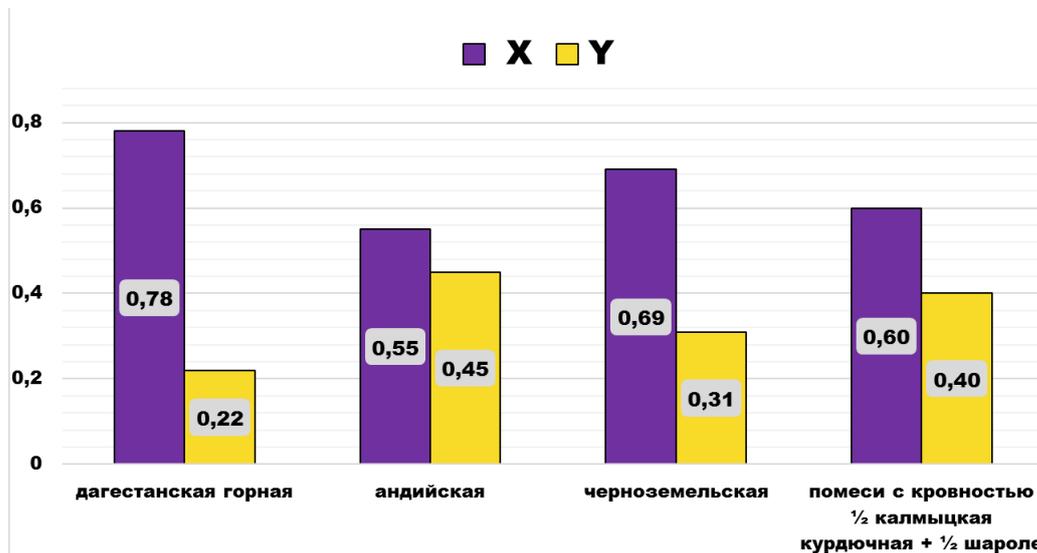


Рисунок 2. Частота встречаемости аллелей гена $KAP\ 1.3$ овец разных породы

Частота гомозиготного $KAP\ 1.3^{XX}$ генотипа у овец разных пород практически одинакова. Самая высокая (66,7 %) частота встречаемости $KAP\ 1.3^{XX}$ генотипа наблюдалось в выборке дагестанской горной породы, несколько ниже (41,2 %) – у особей помесей с кровностью 1/2 калмыцкая курдючная + 1/2 шароле. У овец андийской и черноземельского мериноса частота $KAP\ 1.3^{XX}$ была одинаковой, составившей по 50,0 %. (рисунок 3).

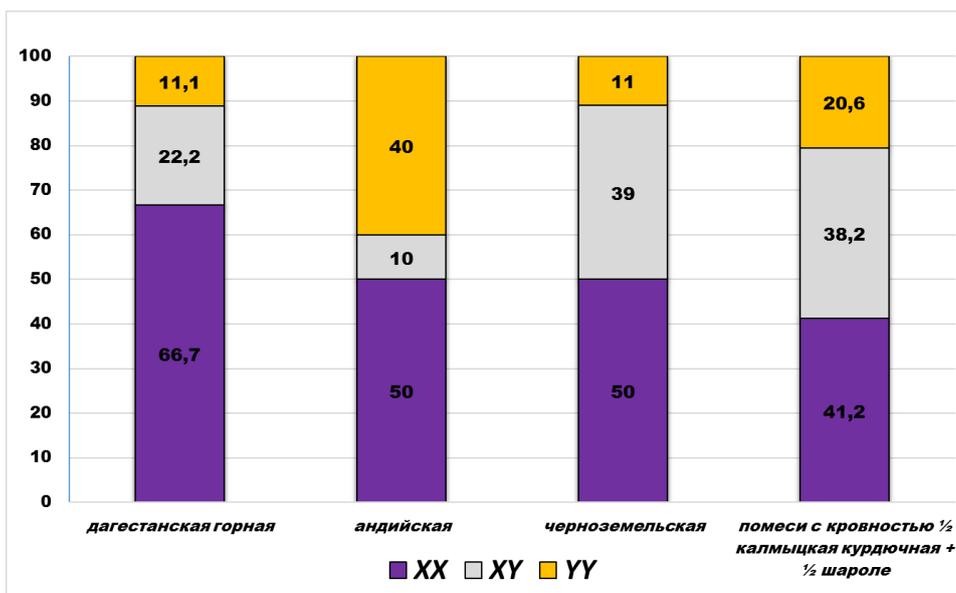


Рисунок 3. Частота встречаемости генотипов гена $KAP\ 1.3$ овец разных породы

Частота встречаемости гомозиготного *KAP 1.3^{YY}* генотипа варьировала от максимального (40,0 %) значения в выборке особей андийской породы до минимальных (11,0 и 11,1 %) показателей – у черноземельского меринуса и дагестанской горной породы. У животных помесей с кровностью $\frac{1}{2}$ калмыцкая курдючная + $\frac{1}{2}$ шароле частота встречаемости *KAP 1.3^{YY}* генотипа составила 20,6 %.

Распределение гетерозиготного *KAP 1.3^{XY}* генотипа характеризовалось высокой частотой встречаемости – 38,2 и 39,0 % – у овец помесей с кровностью $\frac{1}{2}$ калмыцкая курдючная + $\frac{1}{2}$ шароле и черноземельского меринуса, а незначительной (10,0 %) встречаемостью данного генотипа – животные андийской породы. В выборке дагестанской горной породы частота встречаемости гетерозиготного *KAP 1.3^{XY}* генотипа составила 22,2 %.

Полученные результаты показывают следующую тенденцию: во всех исследуемых выборках овец разных пород отмечалось высокое распределение гомозиготного *KAP 1.3^{XX}* генотипа. С одной стороны, наличие большого количества гомозиготных особей с генотипом может быть положительным, так как гомозиготы обычно обладают стабильными и предсказуемыми фенотипическими характеристиками, что может быть полезно в сельскохозяйственном производстве или разведении; с другой – наблюдаемая высокая частота гетерозиготных особей (*KAP 1.3^{XY}*) может говорить о выгодных гетерозисных эффектах.

Проанализировав исследования, проведенные ранее Сениным Р.Ю. с соавторами, можно сделать вывод: полученные результаты по полиморфизму гена *KAP 1.3* у особей дагестанской горной породы и черноземельского меринуса согласуются с нашими исследованиями. Авторы в своей работе установили, что у особей дагестанской горной породы отмечается высокая встречаемость частоты аллеля *KAP 1.3^X* (0,79) и гомозиготного *KAP 1.3^{XX}* генотипа (0,69), а у половины животных таких пород, как черноземельский меринос, грозненская тонкорунная и романовская-1, выявлен гетерозиготный генотип *KAP 1.3^{XY}*, частота которого составила 0,49; 0,50; 0,50 соответственно [13].

В исследованиях, проведенных Kumar R. с соавторами, при изучении полиморфизма гена *KAP 1.3* у разных местных андийских овец было отмечено, что гетерозиготный генотип *KAP 1.3^{XY}* преобладал во многих популяциях таких пород, как Malpura, Avikalin, Nellore, Garole, Magra и Deccani, тогда как гомозиготный генотип *KAP 1.3^{YY}* – в популяциях Chokla, Sonadi, Nali, Patanwadi и Kendrapara [14].

В работе Meena A.S. с соавторами [15] было отмечено, что преобладающим (0,71) у овец Magra являлся гомозиготный *KAP 1.3^{YY}* генотип, тогда как генотип *KAP 1.3^{XX}* встречался с наименьшей частотой (0,12), поскольку аллель *KAP 1.3^Y* была наиболее часто встречаемой. Возможно, это объясняется тем, что овцы породы Magra обладают полугрубой шерстью.

Методами генетико-статистического анализа дана оценка генетической структуры изучаемых нами пород (таблица 2).

Степень гомозиготности (*Ca*), свидетельствующая о консолидации стада в исследуемых выборках животных по гену *KAP 1.3*, варьировала от 51,0 у особей андийской до 65,0 % дагестанской горной пород.

Число эффективно действующих аллелей (*Na*) изучаемого гена *KAP 1.3* также зависело от породных принадлежностей животных: наивысшим значением, составившим 1,98 и 1,92, оказалось в выборках особей андийской и помесей с кровностью $\frac{1}{2}$

калмыцкая курдючная + ½ шароле пород, наименьшим (1,53) – у дагестанской горной породы.

Таблица 2

Генетическая структура изучаемых пород

Показатель	Порода			
	дагестанская горная	андий- ская	черно- земель- ский меринос	помеси с кровностью ½ калмыцкая курдючная + ½ шароле
гомозиготы (n)	28	9	11	21
гетерозиготы (n)	8	1	7	13
χ^2	4,59	6,37	0,13	1,38
Степень гомозиготности, % (Ca)	65,0	51,0	58,0	52,0
Уровень полиморфности (Na)	1,53	1,98	1,74	1,92
Степень ген.изменчивости, % (V)	32,0	40,0	37,0	45,0
Наблюдаемая гетерозиготность	0,29	0,11	0,64	0,62
Ожидаемая гетерозиготность	0,53	0,98	0,74	0,92
Тест гетерозиготности, $\Phi < T$	-0,24	-0,87	-0,10	-0,30

Степень генетической изменчивости (V) колебалась от максимальных (40,0–45,0 %) величин у особей андийской и помесей с кровностью ½ калмыцкая курдючная + ½ шароле пород до минимальной (32,0 %) у дагестанской горной породы.

Тест гетерозиготности (ТГ) оказался отрицательным во всех изучаемых выборках с вариабельностью от -0,10 до -0,87, что свидетельствует о недостатке гетерозигот в исследуемых выборках.

Заключение. В результате проведённого исследования методом ПЦР-ПДРФ установлены породные особенности полиморфизма аллельного спектра гена *KAP 1.3* овец разных пород, разводимых в разных регионах России.

Полученная информация о генетической структуре гена *KAP 1.3*, приоритетных гомозиготного *KAP 1.3^{XX}* и гетерозиготного *KAP 1.3^{XY}* генотипов, популяционно-генетических параметрах у овец разных пород может служить основой для дальнейших углублённых исследований по доказательству гипотезы ассоциативной связи генотипов с хозяйственно ценными признаками, что позволит более тщательно отбирать и проводить селекционно-племенную работу в овцеводстве.

Список источников

1. Whole-Genome Resequencing Reveals Selection Signal Related to Sheep Wool Fineness / W. Zhang, M. Jin, T. Li, Z. Lu, Wang H, Yuan Z, Wei C. // *Animals*. 2023. No 13. Pp. 2944. DOI: 10.3390/ani13182944
2. Bantihun G., Kebede M. In silico analysis of promoter region and regulatory elements of sheep keratin-associated protein genes using bioinformatics tools. *Animal Gene*. 2022. No 24. Pp. 200126. DOI: 10.1016/j.angen.2022.200126.

3. Polymorphism of KRT83 and its association with selected wool traits in Merino-cross lambs / Chai, W., Zhou, H., Forrest, R.H.J., Gong, H., Hodge, S. and Hickford, J.G.H. // *Small Ruminant Research*. 2017. No 155. Pp. 6-11. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.08.019>
4. The Complexity of the Ovine and Caprine Keratin-Associated Protein Genes / Zhou H, Gong H, Wang J, Luo Y, Li S, Tao J, Hickford JGH // *Int J Mol Sci*. 2021 No. 27. Vol. 22(23) Pp.12838. DOI: 10.3390/ijms222312838.
5. Association of polymorphic variants of KAP 1.3 gene with wool traits in Rambouillet sheep / V. Mahajan, A. K. Das, R.K. Taggar, D. Kumar, R. Sharma // *Indian Journal of Animal Sciences*. 2017. No 87. Vol. (10). Pp. 1237-1242. DOI: 10.5958/0973-9718.2016.00018.0
6. Itenge, Theopoline. (2021). Application of PCR Technique to Detect Polymorphism of the KRTAP1.1 Gene in Three Sheep Breeds -A Review. 2021. No 1. Vol. 1. Pp. 1-20. DOI: 10.5772/intechopen.96941.
7. Variation in caprine KRTAP1-3 and its association with cashmere fibre diameter / Yize S., Yuzhu L., Huitong Z. // *Gene*. 2022. No 20. Vol. 823. Pp.146341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gene.2022.146341>
8. Lushnikov V., Strilchuk A. Influence of DNA-Markers Kap 1.3, Cast, Lep 387 on the Productivity of Sheep of the Caucasian and Edilbaevskaya Breeds. 2022. *BIO Web of Conferences*. 43. 03033. DOI: 10.1051/bioconf/20224303033.
9. Identification of novel genetic variants for KAP1.1, KAP1.3 and K33 genes in some of indigenous goat breeds of Turkey / R. Işık, E.Ö. Ünal, A. Fidan, M.İ. Soysal // *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*. 2021. Vol. 45. No. 5. DOI: 10.3906/vet-2101-35
10. Genetic Polymorphism of KRT1. 2 Gene and its Association with Improving of Some Wool Characteristics in Egyptian Sheep / I.M. Farag, H.R. Darwish, A.M Darwish, M.G Eshak, R.W. Ahmed // *Asian Journal of Scientific Research*. 2018. No 11. Pp. 295-300. DOI: 10.3923/ajsr.2018.295.300
11. Nyoni N., Itenge T., Shipandeni M. Polymorphism of the KAP1.3 and KRT33A genes in the Swakara sheep of Namibia. 2020. No 2. Pp. 81-93. DOI: 10.32642/wijas.v2i.
12. Полиморфизм локусов KAP1.3 и KRT1.2 генов кератина среди 4 пород овец отечественного поголовья / Р.Ю. Сенина, Л. А. Калашникова, Н.С. Марзанов, М.Б. Павлов // *Морфология*. 2019. Т. 155. № 2. С. 254. EDN OIJUIS.
13. Полиморфизм гена KAP1.3 у отечественных пород овец разного направления продуктивности / Р.Ю. Сенина, Л.А. Калашникова, В.П. Лушников, К.К. Цой // *Овцы, козы, шерстяное дело*. – 2019. № 4. С. 10-12. EDN ZXYGSL.
14. Polymorphism of KRT1.2 and KAP1.3 genes in Indian sheep breeds / R. Kumar, A.S. Meena, R Kumari., B. Jyotsana, L.L. Prince, S. Kumar // *Indian Journal of Small Ruminants*. 2016. No22 (1). P. 28-31. DOI: 10.5958/0973-9718.2016.00018.0
15. Genetic polymorphism of KRT 1.2, KAP 1.3 and THH gene in magra sheep / A.S. Meena, R. Kumar, B Jyotsana., H.K Narula., S. Kumar // *Indian Journal of Small Ruminants*. 2018. No24 (1). P. 27-30. DOI: 10.5958/0973-9718.2018.00015.6.

References

1. Whole-Genome Resequencing Reveals Selection Signal Related to Sheep Wool Fineness / W. Zhang, M. Jin, T. Li, Z. Lu, Wang H, Yuan Z, Wei C. // *Animals*. 2023. No. 13. pp. 2944. DOI: 10.3390/ani13182944

2. Bantihun G., Kebede M. In silico analysis of promoter region and regulatory elements of sheep keratin-associated protein genes using bioinformatics tools. *Animal Gene*. 2022. No 24. pp. 200126. DOI: 10.1016/j.angen.2022.200126.
3. Polymorphism of KRT83 and its association with selected wool traits in Merino-cross lambs / Chai, W., Zhou, H., Forrest, R.H.J., Gong, H., Hodge, S. and Hickford, J.G.H. // *Small Ruminant Research*. 2017. No. 155. pp. 6-11. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.08.019>
4. The Complexity of the Ovine and Caprine Keratin-Associated Protein Genes / Zhou H, Gong H, Wang J, Luo Y, Li S, Tao J, Hickford JGH // *Int J Mol Sci*. 2021 No. 27. Vol. 22(23) pp.12838. DOI: 10.3390/ijms222312838.
5. Association of polymorphic variants of KAP 1.3 gene with wool traits in Rambouillet sheep / V. Mahajan, A. K. Das, R.K. Taggar, D. Kumar, R. Sharma // *Indian Journal of Animal Sciences*. 2017. No. 87. Vol. (10). pp. 1237-1242. DOI: 10.5958/0973-9718.2016.00018.0
6. Itenge, Theopoline. (2021). Application of PCR Technique to Detect Polymorphism of the KRTAP1.1 Gene in Three Sheep Breeds -A Review. 2021. No 1. Vol. 1. pp. 1-20. DOI: 10.5772/intechopen.96941.
7. Variation in caprine KRTAP1-3 and its association with cashmere fibre diameter / Yize S., Yuzhu L., Huitong Z. // *Gene*. 2022. No 20. Vol. 823. pp.146341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gene.2022.146341>
8. Lushnikov V., Strilchuk A. Influence of DNA-Markers Kap 1.3, Cast, Lep 387 on the Productivity of Sheep of the Caucasian and Edilbaevskaya Breeds. 2022. *BIO Web of Conferences*. 43. 03033. DOI: 10.1051/bioconf/20224303033.
9. Identification of novel genetic variants for KAP1.1, KAP1.3 and K33 genes in some of indigenous goat breeds of Turkey / R. Işık, E.Ö. Ünal, A. Fidan, M.İ. Soysal // *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*. 2021. Vol. 45. No. 5. DOI: 10.3906/vet-2101-35
10. Genetic Polymorphism of KRT1. 2 Gene and its Association with Improving of Some Wool Characteristics in Egyptian Sheep / I.M. Farag, H.R. Darwish, A.M Darwish, M.G Eshak, R.W. Ahmed // *Asian Journal of Scientific Research*. 2018. No. 11. pp. 295-300. DOI: 10.3923/ajsr.2018.295.300
11. Nyoni N., Itenge T., Shipandeni M. Polymorphism of the KAP1.3 and KRT33A genes in the Swakara sheep of Namibia. 2020. No. 2. pp. 81-93. DOI: 10.32642/wijas.v2i.
12. Polymorphism of the KAP1.3 and KRT1.2 keratin genes loci among 4 breeds of sheep of domestic livestock / R.Yu. Senina, L. A. Kalashnikova, N.S. Marzanov, M.B. Pavlov // *Morphology*. 2019. Vol. 155. No. 2. p. 254. EDN OIJUIS.
13. Polymorphism of the KAP1.3 gene in domestic breeds of sheep of different types of productivity / R.Yu. Senina, L.A. Kalashnikova, V.P. Lushnikov, K.K. Tsoi // *Sheep, goats, wool business*. – 2019. No. 4. pp. 10-12. EDN ZXYGSL.
14. Polymorphism of KRT1.2 and KAP1.3 genes in Indian sheep breeds / R. Kumar, A.S. Meena, R Kumari., B. Jyotsana, L.L. Prince, S. Kumar // *Indian Journal of Small Ruminants*. 2016. No22 (1). P. 28-31. DOI: 10.5958/0973-9718.2016.00018.0
15. Genetic polymorphism of KRT 1.2, KAP 1.3 and THH gene in magra sheep / A.S. Meena, R. Kumar, B Jyotsana., H.K Narula., S. Kumar // *Indian Journal of Small Ruminants*. 2018. No24 (1). pp. 27-30. DOI: 10.5958/0973-9718.2018.00015.6.

Сведения об авторах

Закир Камилович Гаджиев, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории разведения и селекции сельскохозяйственных животных (с сектором скотоводства), тел. 8 (8652) 71-70-33, e-mail: gadzhiev70@yandex.ru, ORCID 0000-0003-1966-7000.

Владимир Аникеевич Погодаев, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории разведения и селекции сельскохозяйственных животных (с сектором скотоводства), тел.: 8 (918) 785-85-25, e-mail: pogodaev_1954@mail.ru, ORCID 0000-0002-9165-1225.

Евгения Семёновна Суржикова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологий, тел.: 8 (905) 413-74-35, e-mail: immunogenetika@yandex.ru, ORCID 0000-0002-3955-0902.

Дарья Дмитриевна Евлагина, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологий, тел.: 8 (918) 13-19-731, e-mail: d1319731@yandex.ru, ORCID 0000-0001-6101-7293.

Information about the authors

Z.K. Gadzhiev, Doctor of Biological Science, Chief Researcher of the Laboratory of Breeding and Selection of Farm Animals (with the cattle breeding sector), tel. 8 (8652) 71-70-33, e-mail: gadzhiev70@yandex.ru, ORCID 0000-0003-1966-7000

V.A. Pogodaev, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher of the Laboratory of Breeding and Selection of Farm Animals (with the cattle breeding sector) tel.: 8 (918) 785-85-25, email: pogodaev_1954@mail.ru, ORCID 0000-0002-9165-1225

E.S. Surzhikova, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Immunogenetics and DNA Technologies tel.: 8 (905) 413-74-35, e-mail: immunogenetika@yandex.ru, ORCID 0000-0002-3955-0902

D.D. Evlagina, Candidate of Biological Sciences, Researcher of the Laboratory of Immunogenetics and DNA Technologies, tel.: 8 (918) 13-19-731, e-mail: d1319731@yandex.ru, ORCID 0000-0001-6101-7293

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors' contribution: All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 10.11.2023; одобрена после рецензирования 20.11.2023; принята к публикации 17.12.2023.

The article was submitted 10.11.2023; approved after reviewing 20.11.2023; accepted for publication 17.12.2023.