

Научная статья
УДК 575.113.2: 636.32 / 38.082.13
doi: 10.28983/asj.y2023i5pp72-78

**Распределение частоты встречаемости аллелей гена кальпастатина
у овец разных пород (обзор)**

**Закир Камилович Гаджиев¹, Евгения Семёновна Суржикова¹, Татьяна Николаевна Михайленко¹,
Дарья Дмитриевна Евлагина^{1,2}, Ольга Николаевна Онищенко^{1,2}**

¹Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», Ставропольский край, г. Михайловск, Россия
e-mail: immunogenetika@yandex.ru

²ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», Ставропольский край, г. Ставрополь, Россия

e-mail: 74helga74@mail.ru

Аннотация. Генетическое разнообразие современных популяций домашних животных очень важно для улучшения пород, их адаптации к различным условиям окружающей среды, а также для получения высококачественной животноводческой продукции, в частности мяса. Ген кальпастатин (CAST) рассматривается как один из перспективных маркеров интенсивности роста и качества мяса. В статье представлен анализ (литературный обзор) гена CAST у овец следующих стран: Иран, Турция, Польша, Россия. Обобщены результаты научных исследований, цель которых заключалась в изучении частоты встречаемости аллелей CAST^M и CAST^N, а также генотипов CAST^{MM}, CAST^{MN}, CAST^{NN} в гене кальпастатин у разных пород овец. На территории Российской Федерации изучено поголовье овец, разводимых в Северо-Кавказском, Южном, Приволжском, Сибирском федеральных округах. В большинстве исследуемых пород частота аллеля M значительно превышала частоту аллеля N и находилась в диапазоне 0,33–0,99, следовательно, частота аллеля N находилась в диапазоне от 0,01 до 0,67.

Ключевые слова: ПЦР-ПДРФ анализ; полиморфизм; овцы; порода; мясная продуктивность; ген; CAST; генетическая изменчивость.

Для цитирования: Гаджиев З. К., Суржикова Е. С., Михайленко Т. Н., Евлагина Д. Д., Онищенко О. Н. Распределение частоты встречаемости аллелей гена кальпастатина у овец разных пород (обзор) // Аграрный научный журнал. 2023. № 5. С. 72–78. [http: 10.28983/asj.y2023i5pp72-78](http://10.28983/asj.y2023i5pp72-78).

VETERINARY MEDICINE AND ZOOTECNICS

Original article

**Distribution of the frequency of occurrence of alleles by the calpastatin gene
in sheep of different breeds (review)**

**Zakir K. Gadzhiev¹, Evgenia S. Surzhikova¹, Tatiana N. Mikhailenko¹, Daria D. Elagina^{1,2},
Olga N. Onishchenko^{1,2}**

¹All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center", Stavropol Territory, Mikhailovsk, Russia, e-mail: immunogenetika@yandex.ru

²Stavropol State Agrarian University, Stavropol Territory, Stavropol, Russia
e-mail: 74helga74@mail.ru

Abstract. The genetic diversity of modern populations of domestic animals is very important for improving breeds, for their adaptation to various environmental conditions, as well as for obtaining high-quality livestock products, in particular meat. The calpastatin gene (CAST) is considered as one of the promising markers of growth intensity and meat quality. The article presents an analysis of the literature review on the CAST gene in sheep from the following countries: Asia, New Zealand, Iran, England, France, Poland, Russia. The results of scientific studies aimed at studying the frequency of occurrence of CAST^M and CAST^N alleles, as well as CAST^{MM}, CAST^{MN}, CAST^{NN} genotypes in the calpastatin gene in different breeds of sheep are summarized. On the territory of the Russian Federation, the number of sheep bred in the North Caucasus, Southern, Volga, Siberian Federal Districts has been studied. In all the studied breeds, the frequency of the M allele significantly exceeded the frequency of the N allele and was in the range of 0,33–0,99, therefore, the frequency of the N allele was in the range from 0,01 to 0,67.





Keywords: PCR-RFLP analysis; polymorphism; sheep; breed; meat productivity; gene; CAST; genetic variability.

For citation: Gadzhiev Z. K., Surzhikova E. S., Mikhailenko T. N., Evlagina D. D., Onishchenko O. N. Distribution of the frequency of occurrence of alleles by the calpastatin gene in sheep of different breeds (review). *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2023;(5):72–78. (In Russ.). <http://10.28983/asj.y2023i5pp72-78>.

В настоящее время существующие ДНК-технологии позволяют не только изучать генетическое биоразнообразие в популяциях, но и идентифицировать гены, которые прямо или косвенно связаны с продуктивностью животных [4, 7, 8].

Ген кальпастанин (CAST) является специфическим ингибитором кальпаина (кальций-зависимого семейства кальпаин-протеаз), играет ключевую роль в размягчении мяса после убоя и миогенезе [12]. Генетический полиморфизм гена кальпастанин (CAST) и его ассоциативная связь с качеством мяса наблюдались у различных сельскохозяйственных животных, включая крупный рогатый скот, коз и овец.

У овец ген CAST локализован в локусе 5q15 пятой хромосомы, включает 28 интронов, 29 экзонов, длина 89553 п.н. [17]. Полиморфизм гена локализован на первом интроне между экзонами 1С и 1D. Он был обнаружен в амплифицированном фрагменте длиной 622 п.н. методом полимеразной цепной реакции, полиморфизм длины рестрикционного фрагмента (ПЦР-ПДРФ) с использованием эндонуклеазы рестрикции MspI, которая расщепляет нуклеотидную последовательность в следующем специфическом сайте: 5'...C↓CGG...3'. Таким образом, были идентифицированы два полиморфных варианта, обусловленных наличием или отсутствием точечной мутации (SNP) и заменой CCGG на CCAG [13, 14]. При наличии сайта рестрикции образуются два фрагмента длиной 336 и 286 п.н., что соответствует аллельному М варианту, при отсутствии сайта – длина фрагмента остается без изменения (622 п.н) [6, 10, 13].

Цель работы заключалась в обобщении научных данных текущего состояния исследований по идентификации гена кальпастанина, контролирующего мясную продуктивность овец, разводимых в разных странах мира, а также различных регионах Российской Федерации.

При подготовке аналитического обзора по частоте встречаемости аллельных вариантов гена кальпастанина у овец разных пород использовались результаты исследований, которые публиковались в открытой печати.

На развитие скелетных мышц влияют различные ферменты, одним из которых является кальпастанин. Важнейшим показателем качества мяса является нежность и его микроструктурный состав [22]. Нежность – признак, который в значительной степени усиливается в процессе послеубойного «старения» (созревания) мышечной ткани. Считается, что кальций-зависимая протеолитическая система является одной из основных систем, ответственных за изменение степени посмертной тендеризации [18, 19, 20]. Эти наблюдения показывают, что генетические вариации гена CAST можно рассматривать как «ген-кандидат» для определения признаков качества туши и мяса.

В таблице представлена частота встречаемости аллелей и генотипов поголовья овец разных пород, разводимых на территории Российской Федерации.

В работе Н.Ф. Бакоева, Л.В. Гетманцевой представлены результаты изучения полиморфизма гена кальпастанина методом ПЦР-ПДРФ у овец волгоградской породы, разводимых в Волгоградской области. В исследуемой группе овец частоты аллелей CAST^M и CAST^N составили 0,85 и 0,15, при этом не было обнаружено животных-носителей гомозиготного генотипа CAST^{NN}, а частота встречаемости генотипов CAST^{MM} и CAST^{MN} составила 70,0 и 30,0 % соответственно [2].

Учеными-исследователями М.И. Селионовой, Л.Н. Чижовой, Е.С. Суржиковой после проведения ДНК-генотипирования на овцах горно-алтайской породы ($n = 40$), разводимых в Сибирском федеральном округе, было установлено, что полиморфизм гена CAST представлен двумя аллелями и тремя генотипами. Значительно чаще (0,84) встречалась М-аллель, реже (0,16) N-аллель, что обусловило достаточно высокую (72,0 и 23,0 %) частоту встречаемости гомозиготного CAST^{MM} и гетерозиготного CAST^{MN} генотипов соответственно. При этом отмечена низкая (5,0 %) частота встречаемости гомозиготного CAST^{NN} варианта [12].

В работе А.А. Оздемирова, Л.Н. Чижовой, А.А. Хожокова и др. изучался полиморфизм гена кальпастанина на овцах дагестанской горной породы ($n = 44$), разводимых в условиях Респуб-

Порода	Частота встречаемости					Ссылка на авторов
	аллелей		генотипов, %			
	M	N	MM	MN	NN	
Волгоградская ($n = 110$)	0,85	0,15	70,0	30,0	–	[2]
Горно-алтайская ($n = 40$)	0,84	0,16	72,0	23,0	5,0	[12]
Дагестанская горная ($n = 44$)	0,97	0,03	93,0	7,0	–	[13]
Российский мясной меринос ($n = 7$)	0,93	0,07	85,7	14,3	–	[14]
Романовская ($n = 326$)	0,74	0,26	51,0	46,0	3,0	[3]
Сальская порода ($n = 108$)	0,89	0,11	78,0	22,0	–	[1]
Советский меринос ($n = 72$)	0,89	0,11	83,0	11,0	6,0	[1]
Ставропольская ($n = 100$)	0,82	0,18	70,0	24,0	6,0	[11]
Татарстанская ($n = 100$)	0,94	0,06	88,0	12,0	–	[6]
Тувинская короткожирнохвостая (степной тип), $n = 144$	0,87	0,13	73,61	26,39	–	[5]
Тувинская короткожирнохвостая (горный тип), $n = 106$	0,89	0,11	77,36	22,64	–	[5]
Цыгайская ($n = 23$)	0,85	0,15	74,0	22,0	4,0	[10]
Эдильбаевская ($n = 60$)	0,94	0,06	89,0	9,0	2,0	[6]
Помесные овцы ($\frac{1}{2}$ калмыцкая \times $\frac{1}{2}$ дорпер), $n = 10$	0,65	0,35	30,0	70,0	–	[9]
Помесные овцы ($\frac{1}{2}$ полл дорсет \times $\frac{1}{2}$ северокавказская мясо-шерстная), $n = 91$	0,94	0,06	87,9	12,1	–	[15]
Овцы импортной селекции						
Afshari ($n = 30$)	0,63	0,37	54,0	17,0	29,0	[23]
Arkhamerino ($n = 42$)	0,48	0,52	28,0	47,0	25,0	[23]
Berrichon du Cher ($n = 41$)	0,92	0,08	85,0	15,0	–	[19]
Dalagh ($n = 120$)	0,80	0,20	65,5	29,0	5,5	[21]
Gökçeada ($n = 49$)	0,99	0,01	98,0	2,0	–	[22, 24]
Ile de France ($n = 30$)	0,95	0,05	90,0	10,0	–	[19]
Karacabey Merino ($n = 248$)	0,80	0,20	66,94	26,21	6,85	[22]
Kivircik ($n = 336$)	0,85	0,15	72,92	23,51	3,57	[22]
Lori ($n = 48$)	0,64	0,36	41,0	46,0	13,0	[16]
Mehraban ($n = 25$)	0,33	0,67	17,0	37,0	46,0	[23]
Sakiz ($n = 87$)	0,34	0,66	9,20	50,57	40,23	[22]

ки Дагестан. Представленные данные показали, что аллель CAST^N имеет очень низкую (0,03) частоту встречаемости в сравнении с аллелью CAST^M (0,97). В исследованиях отмечена высокая (93,0 %) частота встречаемости гомозиготного генотипа CAST^{MM}, тогда как овцы-носители генотипа CAST^{NN} отсутствовали. При этом частота встречаемости гетерозиготного генотипа CAST^{MN} составила 7,0 % [13].

О.Н. Онищенко, Е.Н. Чернобай, Е.С. Суржилова, С.Н. Шумаенко проводили исследования по ДНК-типированию ген-маркера CAST на баранах-производителях породы российский мясной меринос ($n = 7$), разводимых в условиях Ставропольского края. По результатам исследования было установлено, что полиморфизм гена CAST представлен высокой (0,93) частотой встречаемости аллеля CAST^M и низкой (0,07) – CAST^N. Полученные авторами результаты свидетельствуют о высокой (85,7 %) частоте встречаемости гомозиготного CAST^{MM} генотипа и отсутствии животных с CAST^{NN} генотипом в данной выборке. Частота встречаемости гетерозиготного CAST^{MN} генотипа составила 14,3 % [14].



Исследования, проводимые М.Н. Костылевым и соавторами на популяции овец романовской породы, разводимых в Ярославской области, выявили у животных данной породы три генотипа с различной частотой встречаемости: $CAST^{MM}$ – 51,0 %; $CAST^{MN}$ – 46,0 %; $CAST^{NN}$ – 3,0 %. Соотношение аллелей М и N в популяции составило 0,74 и 0,26 соответственно. Также ученые оценили взаимосвязь полиморфизма гена с продуктивными признаками овец романовской породы. Полученные данные показали, что животные с генотипом $CAST^{MM}$ превосходили животных с генотипом $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ в возрасте 5 месяцев на 5,61 и 14,8 %, а в возрасте 10 месяцев – на 4,53 и 11,3 % соответственно [3].

Н.Ф. Бакоевым и Н.В. Широковой проведены исследования на овцах советский меринос ($n = 72$) и сальской ($n = 108$), разводимых в Южном федеральном округе. В результате у овец данных пород установлены два аллельных варианта гена кальпастина: $CAST^M$ и $CAST^N$ с частотой встречаемости 0,89 и 0,11. При этом у советского мясного мериноса выявлено три генотипа $CAST^{MM}$, $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ с частотами 83,0; 11,0 и 6,0 % соответственно, а у сальской породы овец два генотипа $CAST^{MM}$ и $CAST^{MN}$ с частотами 78,0 и 22,0 % соответственно. Также были выявлены достоверные ассоциации по гену $CAST$ между генотипами и ростовыми признаками овец сальской породы [1].

Л.Н. Чижовой, Е.С. Суржиковой, М.В. Забелиной и другими учеными полиморфизм гена $CAST$ изучался на овцах ставропольской породы, разводимых в Ставропольском крае. У овец данной породы частота встречаемости аллеля $CAST^M$ преобладала над аллелем $CAST^N$ в 4,5 раза. Данная закономерность нашла отражение в частоте встречаемости $CAST^{MM}$, $CAST^{NN}$ гомозиготных генотипов и гетерозиготного $CAST^{MN}$, составив 70,0; 6,0 и 24,0 % соответственно [11].

В.П. Лушников с соавторами провели ДНК-генотипирование по выявлению полиморфизма в гене $CAST$ на разных половозрастных группах овец. Объектами исследования были овцематки ($n = 7$), баранчики ($n = 60$), ярки ($n = 33$) татарстанской породы и баранчики эдильбаевской породы ($n = 60$). Исследования по двум породам показало одинаковое распределение частоты встречаемости аллелей: $CAST^N$ – 0,06, $CAST^M$ – 0,94. При этом частота встречаемости генотипов у исследуемой популяции овец татарстанской породы распределилась следующим образом. Гомозиготные генотипы $CAST^{MM}$ и $CAST^{NN}$ составили 89,0; 2,0 %, гетерозиготный $CAST^{MN}$ – 9,0 %. Тогда как в популяции овец эдильбаевской породы гомозиготный генотип $CAST^{NN}$ не встречался; частота встречаемости гомозиготного генотипа $CAST^{MM}$ составила 88,0 %, гетерозиготного генотипа $CAST^{MN}$ – 12,0 % [6].

Изучение полиморфизма гена кальпастина К.А. Куликовой проводилось на овцах тувинской короткожирнохвостой породы. Популяция была представлена баранчиками горного внутривидового ($n = 106$) и степного ($n = 144$) типов. Полученные данные показали, что животных-носителей гомозиготного генотипа $CAST^{NN}$ не обнаружено ни в одной из представленных популяций. Большинство баранчиков горного внутривидового и степного типов были носителями гомозиготного генотипа $CAST^{MM}$. У овец степного типа выявлено 106 представителей с данным генотипом (73,61 % исследованного поголовья), в популяции овец горного внутривидового типа – 82 головы (77,36 %). При этом распределение гетерозиготного $CAST^{MN}$ генотипа у баранчиков на порядок ниже: степной тип – 26,39 % ($n = 38$); горный тип – 22,64 % ($n = 24$) [5].

В статье В.С. Паштецкой, П.С. Остапчук и соавторов представлены результаты изучения полиморфизма гена кальпастина у овец цыгайской породы ($n = 23$), разводимых в Республике Крым. Авторами было установлено, что встречаемость аллеля $CAST^M$ составляет 0,85, тогда как у аллеля $CAST^N$ – 0,15. У овец определены все три генотипа с разной частотой встречаемости: $CAST^{MM}$ – 74,0 %, $CAST^{NN}$ – 4,0 % и $CAST^{MN}$ – 22,0 % [10].

В.А. Погодаевым, Л.В. Кононовой и Б.К. Адучиевым в Республике Калмыкии был изучен полиморфизм гена $CAST$ на молодняке овец с кровностью $\frac{1}{2}$ калмыцкая + $\frac{1}{2}$ дорпер ($n = 10$). В данной выборке животных частота встречаемости аллелей $CAST^N$ и $CAST^M$ составила 0,35 и 0,65. В сравнении с другими породами отмечена высокая частота встречаемости гетерозиготного генотипа $CAST^{MN}$ (70,0 %). Тогда как частота встречаемости гомозиготного генотипа $CAST^{MM}$ составила всего лишь 30,0 %, а особей с генотипом $CAST^{NN}$ не выявлено [9].

В исследованиях И.О. Фоминой, Л.Н. Скорых, Д.В. Коваленко описан опыт, проводимый на ярках ($n = 91$) помесной породы ($\frac{1}{2}$ полл дорсет \times $\frac{1}{2}$ северокавказская мясо-шерстная), разво-



димых в Ставропольском крае. Частота встречаемости CAST^M и CAST^N аллелей у данной породы составила 0,94 и 0,06 соответственно. Распределение частоты встречаемости генотипов по гену CAST отмечалось преобладанием гомозиготного CAST^{MM} генотипа (87,9 %), тогда как особей с генотипом CAST^{NN} в данной выборке не выявлено. При этом частота встречаемости животных, являющихся носителями гетерозиготного варианта CAST^{MN}, составила 12,1 % [15].

Учеными ряда зарубежных стран были проведены исследования на наличие полиморфизма гена CAST у разных пород овец, целью которых была оценка частот генотипов гена CAST у растущих овец, а также оценка ассоциаций генотипов CAST с мясными признаками.

S. Khederzadeh были проведены исследования на помесях Dalagh (породы овец из провинции Голистан в Иране, 120 гол.) на выявление полиморфизма гена кальпастина. В популяции обнаружены аллели CAST^M и CAST^N, которые составили 0,80 и 0,20. У овец данной породы были определены разные встречаемости генотипов CAST^{MM}, CAST^{MN} и CAST^{NN}, идентифицированы с частотой 65,5; 29,0 и 5,5 %. Было обнаружено, что популяция подчиняется равновесию Харди-Вайнберга. Авторами установлено, что помесь овец Dalagh показала низкую степень генетического разнообразия по локусу гена кальпастина [21].

O. Yilmaz, T. Sezenler, N. Ata, Y. Yaman утверждают, что ген CAST оказывает большое влияние на мясную продуктивность, рост мышц, а также на нежность мяса после убоя. Образцы цельной крови были отобраны в общей сложности от 720 животных из Kivircik (KIV), Sakiz (SZ), Karacabey Merino (KM) и популяции овец Gökçeada (GA), разводимых в Западной Анатолии. Продукты ПЦР расщепляли эндонуклеазой MspI. Установлено, что у овец данных пород по гену CAST частота встречаемости аллелей M и N выглядела следующим образом: для KIV – 0,85; 0,15, KM – 0,80; 0,20, GA – 0,99; 0,01 и SZ – 0,34; 0,66 соответственно. Установлено, что частота гомозиготного NN генотипа была значительно ниже (3,57; 6,85) в популяциях KIV и KM, чем в породе SZ (40,23); отмечено, что генотип CAST^{NN} не наблюдался в популяции GA. Авторами было установлено, что все популяции овец, кроме KM, находятся в равновесии закона Харди-Вайнберга. Дано заключение о том, что подборка материала является первым шагом в поиске влияния генов-кандидатов на количество и качество мяса [22].

Анализ частоты встречаемости селекционно значимого аллеля CAST^N показал, что наибольшие значения характерны для овец импортных пород: Lori, Afshari, Arkhamerino, Mehraban, разводимых в Иране. Наименьшие частоты аллеля N отмечены для пород Gökçeada (Турция), Ile de France и Berrichon du Cher (Польша) [16, 19, 23, 24, 25].

Обзор научных данных свидетельствует о том, что с каждым годом появляется все больше исследований, направленных на изучение и выявление генов, отвечающих за нежность мяса и мясную продуктивность у овец. Это подтверждает необходимость проведения дальнейших маркер-генетических исследований, а также перспективность гена кальпастина для дальнейшего изучения мясной продуктивности у разных пород.

Проведенный анализ показал, что в большинстве исследуемых пород частота CAST^M превышала частоту аллеля CAST^N и находилась в диапазоне 0,33–0,99, следовательно, частота аллеля N находилась в диапазоне от 0,01 до 0,67. Изученный материал позволяет говорить о значительном потенциале селекционного отбора животных, являющихся носителями селекционно значимого аллеля, важности ведения целенаправленного подбора родительских пар.

В настоящее время продолжается изучение влияния аллелей гена CAST на мясную продуктивность не только овец, но и других сельскохозяйственных животных. Это подтверждает необходимость проведения дальнейших исследований в этой области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакоев Н. Ф., Широкова Н. В. Влияние полиморфизма гена кальпастина (CAST) на ростовые признаки овец; Донской ГАУ. Пос. Персиановский, 2016. С. 1–2.
2. Бакоев Н. Ф., Гетманцева Л. В. Полиморфизм гена CAST у овец волгоградской породы и его связь с продуктивными признаками // Повышение конкурентоспособности животноводства и задачи кадрового обеспечения: материалы XXV Междунар. науч.-практ. конф. Г.о. Подольск, пос. Быково. С. 438–441.
3. Генетические маркеры мясной продуктивности романовской породы овец: IGFBP-3, GHo и CAST / М. Н. Костылев [и др.] // Аграрная наука. 2020. № 11-12. С. 36–40. DOI 10.32634/0869-8155-2020-343-11-36-40.



4. Генетические маркеры в мясном овцеводстве / А. В. Дейкин [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. Т. 20. № 5. С. 576–583.
5. Куликова К. А. Полиморфизм гена кальпастатина (cast) у овец горного и степного внутривидовых типов тувинской короткожирнохвостой породы // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2018. № 1(45). С. 84–89.
6. Лушников В. П., Фетисова Т. О., Стрильчук А. А. Полиморфизм гена CAST у овец татарстанской и эдильбаевской пород // Овцы, козы, шерстяное дело. 2020. № 2. С. 9–11.
7. Марзанов Н. С., Саморуков Ю. В., Ескин Г. В. Сохранение биоразнообразия. Генетические маркеры и селекция животных // Сельскохозяйственная биология. 2006. № 4. С. 3–19.
8. Племяшов К. В. Геномная селекция – будущее животноводства // Животноводство России. 2014. № 5. С. 2–4.
9. Погодаев В. А., Кононова Л. В., Адучиев Б. К. Полиморфизм генов кальпастатина и соматотропина у овец калмыцкой курдючной породы и помесей (калмыцкая курдючная + 1/2 дорпер) // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3(47). С. 141–145.
10. Полиморфизм гена кальпастатина (CAST) у выборки овец цыгайской породы в Крыму / В. С. Паштецкая [и др.] // Генетические ресурсы животноводства и растениеводства: состояние и перспективы в сфере сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Махачкала, 3–4 ноября 2022. Махачкала, 2022. С. 58–64.
11. Полиморфизм генов GH, CAST у овец в связи с показателями резистентности / Л. Н. Чинова [и др.] // Аграрный научный журнал. 2020. № 12. С. 75–77.
12. Полиморфизм генов CAST, GH, GDF9 овец горно-алтайской породы / М. И. Селионова [и др.] // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50. № 1. С. 92–100.
13. Полиморфизм генов CAST, GH, GDF9 овец дагестанской горной породы / А. А. Оздемиров [и др.] // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. № 2(59). С. 39–44.
14. Полиморфизм генов CAST и GH у баранов-производителей породы российский мясной меринос / О. Н. Онищенко [и др.] // Зоотехния. 2022. № 5. С. 16–18.
15. Фоминова И. О., Скорых Л. Н., Коваленко Д. В. Биотехнологические методы исследования полиморфизма генов соматотропина и кальпастатина // Сельскохозяйственный журнал. 2020. № 5(13). С. 83–88.
16. Asadi N., Nanekarani Sh., Khederzadeh S. Genotypic frequency of calpastatin gene in lori sheep by polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism (PSR-RFLP) method // African Journal of Biotechnology. 2014. No.13(19). P. 1952–1954.
17. Association of a single nucleotide polymorphism in the calpastatin gene with carcass and meat quality traits of beef cattle / F. Schenkel, S. Miller, Z. Jiang et al. // Journal Animal Sciences. 2006. Vol. 84. P. 291–299.
18. Biochemistry of postmortem muscle – Lessons on mechanisms of meat tenderization / E. Lonergan et al. // Journal Meat Science. 2010. Vol. 86. No. 1. P. 184–195.
19. Gorkhali N. A., Han J. L., Ma Y. H. Mitochondrial DNA Variation in Indigenous Sheep (Ovis aries) Breeds of Nepal Tropical // Agricultural Research. 2015. No. 26(4). P. 632–641.
20. Identification of new single nucleotide polymorphisms in candidate genes for mutton quality in Indian sheep / R. Arora et al. // Animal Molecular Breeding. 2014. Vol. 4. P. 1–5.
21. Khederzadeh S. Polymorphism of calpastatin gene in crossbreed Dalagh sheep using PCR–RFLP // African Journal of Biotechnology. 2011. Vol. 53. P. 10839–10841.
22. Polymorphism of the ovine calpastatin gene in some Turkish sheep breeds / O. Yilmaz et al. // Turkish Journal of Veterinary Animal Sciences. 2014. Vol. 38. No. 4. P. 354–357.
23. Tohidi R., Elyas G. I., Javanmard A. Molecular Analysis of Ovine Calpastatin Gene in Six Iranian Sheep Breeds Using PCR-RFLP // J Anim Prod Adv. 2013. No. 3(9). P. 271–277.
24. Yilmaz O., Cemal I., Karaca O. Genetic diversity in nine native Turkish sheep breeds based on microsatellite analysis // Anim Genet. 2014. No. 45/4. P. 604–608.
25. Features of polymorphism of calpastatin and somatotropin genes in young sheep, obtained from crossing ewes of Kalmyk fat-rumped sheep and dorper / V. Pogodaev et al. // E3S Web of Conferences. INTERAGROMASH, 2020. Vol. 03020. P. 175. URL: <https://doi.org/1051e3sconf/202017503020>.

REFERENCES

1. Bakoev N. F., Shirokova N. V. The influence of calpastatin gene polymorphism (CAST) on the growth characteristics of sheep; Donskoy GAU. Persianovsky; 2016. P. 1–2. (In Russ.).
2. Bakoev N. F., Getmantseva L. V. Polymorphism of the CAST gene in Volgograd breed sheep and its connection with productive traits. Improving the competitiveness of animal husbandry and staffing tasks: materials of the XXV International Scientific and practical conference, Podolsk, village. Bykovo, June 24–25, 2019. Podolsk, village. Bykovo; 2019. P. 438–441. (In Russ.).



3. Genetic markers of meat productivity of the Romanov sheep breed: IGFBP-3, GHo and CAST / M. N. Kostylev et al. *Agrarian Science*. 2020;(11-12):36–40. DOI 10.32634/0869-8155-2020-343-11-36-40. (In Russ.).
4. Genetic markers in meat sheep breeding / A.V. Deikin et al. *Vavilovsky Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(5):576–583. (In Russ.).
5. Kulikova K. A. Polymorphism of the calpastatin gene (cast) in sheep of mountain and steppe intrabreed types of the Tuvan short-tailed breed. *Bulletin of the Bashkir State Agrarian University*. 2018;1(45):84–89. (In Russ.).
6. Lushnikov V. P., Fetisova T.O., Strilchuk A. A. Polymorphism of the CAST gene in sheep of Tatarstan and Edilbaev breeds. *Sheep, goats, wool business*. 2020;(2):9–11. (In Russ.).
7. Marzanov N. S., Samorukov Yu. V., Eskin G. V. Conservation of biodiversity. Genetic markers and animal breeding. *Agricultural Biology*. 2006;(4): 3–19. (In Russ.).
8. Plemyashov K. V. Genomic selection – the future of animal husbandry. *Animal Husbandry of Russia*. 2014;(5):2–4. (In Russ.).
9. Pogodaev V. A., Kononova L. V., Aduchiev B. K. Polymorphism of calpastatin and somatotropin genes in sheep of the Kalmyk kurdyuchnaya breed and crossbreeds (Kalmyk kurdyuchnaya + 1/2 dorper). *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2019;3(47):141–145. (In Russ.).
10. Polymorphism of the calpastatin gene (CAST) in a sample of sheep of the Tsigai breed in the Crimea / V. S. Pashtetskaya et al. Genetic resources of animal husbandry and plant breeding: the state and prospects in the field of agriculture: materials of the International scientific and practical conference – Makhachkala: November 3–4 2022. Makhachkala; 2022. P. 58–64. (In Russ.).
11. Polymorphism of GH, CST genes in sheep in connection with resistance indicators / L.N. Chizhova et al. *Agrarian Scientific Journal*. 2020;(12):75–77. (In Russ.).
12. Polymorphism of CAST, GH, GDF9 genes of sheep of the Gorno-Altai breed / M. I. Selionova et al. *Siberian Bulletin of Agricultural Science*. 2020;50(1):92–100. (In Russ.).
13. Polymorphism of CAST, GH, GDF9 genes of sheep of Dagestan mountain breed / A. A. Ozdemirov et al. *South of Russia: ecology, development*. 2021;16;2(59):39–44. (In Russ.).
14. Polymorphism of CAST and GH genes in sheep-producers of the Russian meat merino breed / O. N. Onishchenko et al. *Zootekhnika*. 2022;(5):16–18. (In Russ.).
15. Fominova I. O., Skorykh L. N., Kovalenko D.V. Biotechnological methods for studying polymorphism of somatotropin and calpastatin genes. *Agricultural Journal*. 2020;5(13):83–88. (In Russ.).
16. Asadi N., Nanekarani Sh., Khederzadeh S. Genotypic frequency of calpastatin gene in lori sheep by polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism (PSR-RFLP) metod. *African Journal of Biotechnology*. 2014;13(19):1952–1954.
17. Association of a single nucleotide polymorphism in the calpastatin gene with carcass and meat quality traits of beef cattle / F. Schenkel, S. Miller, Z. Jiang et al. *Journal Animal Sciences*. 2006; 84:291–299.
18. Biochemistry of postmortem muscle – Lessons on mechanisms of meat tenderization / E. Lonergan et al. *Journal Meat Science*. – 2010;86(1):184–195.
19. Gorkhali N. A., Han J. L., Ma Y. H. Mitochondrial DNA Variation in Indigenous Sheep (*Ovis aries*) Breeds of Nepal Tropical. *Agricultural Research*. 2015;26(4):632–641.
20. Identification of new single nucleotide polymorphisms in candidate genes for mutton quality in Indian sheep / R. Arora et al. *Animal Molecular Breeding*. 2014;4:1–5.
21. Khederzadeh S. Polymorphism of calpastatin gene in crossbreed Dalagh sheep using PCR–RFLP. *African Journal of Biotechnology*. 2011;53: 10839–10841.
22. Polymorphism of the ovine calpastatin gene in some Turkish sheep breeds / O. Yilmaz et al. *Turkish Journal of Veterinary Animal Sciences*. 2014; 38(4):354–357.
23. Tohidi R., Elyas G. I., Javanmard A. Molecular Analysis of Ovine Calpastatin Gene in Six Iranian Sheep Breeds Using PCR-RFLP. *J Anim Prod Adv*. 2013;3(9):271–277.
24. Yilmaz O., Cemal I., Karaca O. Yilmaz O. Genetic diversity in nine native Turkish sheep breeds based on microsatellite analysi. *Anim Genet*. 2014;(45/4):604–608.
25. Features of polymorphism of calpastatin and somatotropin genes in young sheep, obtained from crossing ewes of Kalmyk fat-rumped sheeps and dorper / V. Pogodaev et al. // E3S Web of Conferences. INTERAGROMASH, 2020;03020:175. URL: <https://doi.org/1051e3sconf/202017503020>.

Статья поступила в редакцию 02.03.2023; одобрена после рецензирования 05.03.2023; принята к публикации 14.03.2023.

The article was 02.03.2023; approved after reviewing 05.03.2023; accepted for publication 14.03.2023.

