



DOI: 10.26898/0370-8799-2020-1-11

УДК: 636.32/.38.082.13:636.082.12

ПОЛИМОРФИЗМ ГЕНОВ *CAST*, *GH*, *GDF9* ОВЕЦ ГОРНО-АЛТАЙСКОЙ ПОРОДЫ

¹Селионова М.И., ¹Чижова Л.Н., ¹Суржикова Е.С., ²Подкорытов Н.А., ²Подкорытов А.Т.

¹Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр,
Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства
Ставрополь, Россия

²Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий,
Горно-Алтайский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
Республика Алтай, с. Майма, Россия

Для цитирования: Селионова М.И., Чижова Л.Н., Суржикова Е.С., Подкорытов Н.А., Подкорытов А.Т. Полиморфизм генов *CAST*, *GH*, *GDF9* овец горно-алтайской породы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50. № 1. С. 92–100. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-1-11.

For citation: Selionova M.I., Chizhova L.N., Surzhikova E.S., Podkorytov N.A., Podkorytov A.T. Polimorfizm genov *CAST*, *GH*, *GDF9* ovets gorno-altaiskoi porody [Polymorphism of *CAST*, *GH*, *GDF9* genes of Gorno-Altai sheep breed]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2020, vol. 50, no. 1, pp. 92–100. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-1-11.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Представлены результаты изучения генетического разнообразия местных пород сельскохозяйственных животных. Объект исследований – горно-алтайская шерстно-мясная порода овец, максимально приспособленная к жестким природно-климатическим условиям Горного Алтая, круглогодичному пастбищному использованию. Порода отличается обильномолочностью, которая обеспечивает высокую сохранность молодняка. Изучены гены и их полиморфные варианты, ассоциированные с селекционируемыми признаками овец. В качестве перспективных генов, маркирующих качественные и количественные признаки мясной продуктивности овец, рассмотрены гены кальпастатина – *CAST*, соматотропина – *GH*, дифференциального фактора роста – *GDF9*. Анализом результатов ДНК-диагностики установлено, что полиморфизм ге-

POLYMORPHISM OF *CAST*, *GH*, *GDF9* GENES OF GORNO-ALTAI SHEEP BREED

¹Selionova M.I., ¹Chizhova L.N.,
¹Surzhikova E.S., ²Podkorytov N.A.,
²Podkorytov A.T.

¹The North Caucasus Federal Agricultural
Research Center, All-Russian Research Institute
of Sheep and Goat Breeding
Stavropol, Russia

²Altay Federal Scientific Center of
AgroBioTechnologies, Gorno-Altai Research
Institute of Agriculture
Mayma, Altay Republic, Russia

The results of studying the genetic diversity of local breeds of farm animals are presented. The object of research is the Gorno-Altai mutton-wool breed of sheep, maximally adapted to the harsh climatic conditions of the Altai mountains, and year-round pasture use. The breed is rich in milk, which ensures high survival rate of young animals. The genes and their polymorphic variants associated with breeding traits of sheep were studied. The genes of Calpastatin (*CAST*), Somatotropin (*GH*), and differential growth factor (*GDF9*) are considered as promising genes marking qualitative and quantitative traits of meat productivity in sheep. The analysis of the DNA diagnostics results revealed that the polymorphism of the *CAST*, *GH*, *GDF9* genes is represented by two alleles, M and N; A and B; A and G, respectively,

нов *CAST*, *GH*, *GDF9* представлен двумя аллелями, соответственно М и N; А и В; А и G, тремя генотипами – MM, NN, MN; AA, BB, AB; AA, GG, AG с разной частотой встречаемости. Частота желательного N аллеля гена *CAST* составила 27,5%, аллеля В гена *GH* – 37,5 %, аллеля А гена *GDF9* – 45,0%. Сравнительный анализ уровня фактической и теоретической ожидаемой гетерозиготности свидетельствует о неоднозначности характера их распределения в зависимости от гена. Наивысшие показатели фактической и ожидаемой гетерозиготности были характерны для гена *GDF9*, составившие соответственно 0,538 и 0,651 против 0,290 и 0,368; 0,290 и 0,445 – для генов *CAST* и *GH*. Наиболее высокая (36,9%) степень генетической изменчивости была характерна для гена *GDF9*, при 24,4 и 28,3% – для генов *CAST* и *GH*. Вариабельность изменчивости теста гетерозиготности в изучаемых генах отмечена незначительной: от минус 0,08 для гена *CAST*, минус 0,15 и минус 0,11 для генов *GH* и *GDF9*, что свидетельствует о некотором недостатке гетерозигот. Результаты исследований показали перспективность включения в селекционные программы совершенствования горно-алтайской породы овец тестирование, отбор и подбор по изученным генам.

Ключевые слова: горно-алтайская порода овец, полиморфизм, гены *CAST*, *GH* и *GDF9*

ВВЕДЕНИЕ

Сохранение биоразнообразия сельскохозяйственных животных в последние годы – одна из актуальных проблем животноводства. Особое значение она приобрела для овцеводства, поскольку, по данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, в мире из всех пород сельскохозяйственных животных больше всего сократилось число пород овец [1]. Поэтому совершенно не случайно в мировой и отечественной практике овцеводства особая роль отводится сохранению, рациональному использованию генетических ресурсов. Мнение ученых и практиков едино в том, что локальные популяции, как правило, устойчивы к заболеваниям, лучше приспособлены к климату, легче адаптируются к ухудшению качества корма, условиям содержания [2, 3]. Доказано, что специфические генные ком-

плексы, сбалансированная система генов региональных пород обуславливают фенотипическое проявление количественных и качественных характеристик породного и популяционного разнообразия [4]. Молекулярно-генетические методы исследований позволяют в достаточно короткий срок получать большой объем объективной информации для решения не только фундаментальных, но и прикладных задач науки и практики [5]. В частности – выявлять гены, их полиморфные варианты, ассоциированные с селекционируемыми признаками овцеводства. В качестве перспективных генов, маркирующих качественные и количественные признаки мясной продуктивности овец, рассматриваются гены кальпастина – *CAST*, соматотропина – *GH*, дифференциального фактора роста – *GDF9* [6–8]. Ген кальпастина (*CAST*) у овец локализо-

Keywords: Gorno-Altai breed of sheep, polymorphism, *CAST*, *GH* and *GDF9* genes

ван на пятой хромосоме, его размер составляет около 100 тыс. пар оснований (п.о.), включает в себя четыре экзона. Он входит в состав кальпаинового семейства ферментов и выступает в качестве специфического ингибитора кальций-зависимых протеаз. Доказано, что выраженность структуры и нежности мяса после забоя животного находится под влиянием функций фермента кальпастина [9, 10].

Ген гормона роста (соматотропный гормон, *GH*) расположен на 11-й хромосоме. Полипептидная цепь, синтез которой он контролирует, состоит из 191 аминокислотного остатка, обладает широким спектром биологического действия, влияя на все клетки организма. Он усиливает биосинтез белка, ДНК, РНК и гликогена и в то же время способствует мобилизации жиров из депо и распаду высших жирных кислот и глюкозы в тканях [11]. Помимо активации анаболических процессов, сопровождающихся увеличением размеров тела, стимуляцией роста скелета, соматотропин координирует и регулирует скорость протекания обменных процессов [12].

Ген дифференциального фактора роста – *GDF9* у овец определен на пятой хромосоме с протяженностью около 2,5 тыс. пар оснований, состоит из двух экзонов, разделенных одним интроном (1126 п.о.), кодирует пептид из 453 аминокислот. Имеются сведения об ассоциации гена с воспроизводительными качествами и энергией роста овец [13, 14].

Горно-алтайская порода, выведенная методом сложного длительного воспроизводительного скрещивания в 30–40-х годах XX в., обладает высокой шерстной и мясной продуктивностью, хорошо приспособлена к круглогодичному пастбищному содержанию в условиях холодного климата и высокогорья Республики Алтай. Порода относится к шерстно-мясному направлению продуктивности. Шерсть белого цвета, однородная, с длиной 8 см у баранов, 7,5 – у маток, тонина 50–58-го качества; руноштапельного, штапельно-косичного строения; настриг шерсти – 6 кг у баранов, 3,3 кг у маток, выход шерсти – 68%. Живая масса баранов 76 кг, маток – 45 кг, в племенных хо-

зяйствах соответственно 88 и 57 кг. Молочность маток – более 100 кг за четыре месяца лактации, среднесуточный прирост ягнят 180–120 г, живая масса к отъему от маток – 28–30 кг [15].

Несмотря на достаточно широкую распространенность и востребованность породы, исследований генов, ассоциированных с мясной продуктивностью, в данной породе не проводилось.

Цель исследований – изучить полиморфизм и генетическую структуру горно-алтайской породы овец по генам *CAST*, *GH*, *GDF9*.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в аккредитованной лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологий Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства (ВНИИОК) – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный аграрный центр» (номер аккредитации РОСС RL /001/21ПД29). Материалом для исследований служила ДНК, выделенная из образцов крови овец ($n = 40$) горно-алтайской породы (КФХ «Усольцева Н.А.» Усть-Канского района Республики Горный Алтай) с использованием коммерческого набора «DIAto^{mm}DNAprep» (Изоген, Москва). Выход ДНК составил 3–5 мкг/100 мкл с OD 260/280 от 1,6 до 2,0. Для проведения ПЦР-гель-электрофорез применяли наборы «GenePakPCRCore» (Изоген, Москва).

Генотипирование овец по генам *CAST*, *GH*, *GDF9* проводили методом ПЦР-ПДРФ на программируемом термоциклере «Терцик» фирмы «ДНК-технология» (Россия) с использованием праймеров следующих последовательностей нуклеотидов: ген *CAST* – F: 5'-tgg-ggc-cca-atg-acg-cca-tcg-atg-3' и R: 5'-ggg-gga-gca-ctt-ctg-atc-acc-3'; ген *GH* – F: 5'-gga-ggc-agg-aag-gga-tga-a-3' и R: 5'-cca-agg-gag-gga-gag-aca-ga-3'; ген *GDF9* – F: 5'-gaa-gac-tgg-tat-ggg-gaa-atg-3' и R: 5'-cca-atc-tgc-tcc-tac-aca-cct-3'. Идентификация исследуемых однонуклеотидных полиморфизмов в генах *CAST*, *GH*, *GDF9* приведена в табл. 1.

Табл. 1. Идентификация исследуемых однонуклеотидных полиморфизмов в генах *CAST*, *GH*, *GDF9* в NCBI

Table 1. Identification of the studied single nucleotide polymorphisms in the genes *CAST*, *GH*, *GDF9* in NCBI

Ген	Позиция в сборке Oar_rambouillet_v1.0	Позиция в сборке 4.0	Область	Идентификатор NCBI
<i>CAST</i>	102036502	93378602	Интрон	rs422618244
<i>GH</i>	14849876	47486660	Экзон	rs397514071
<i>GDF9</i>	46547268	41770341	Экзон	rs410123449

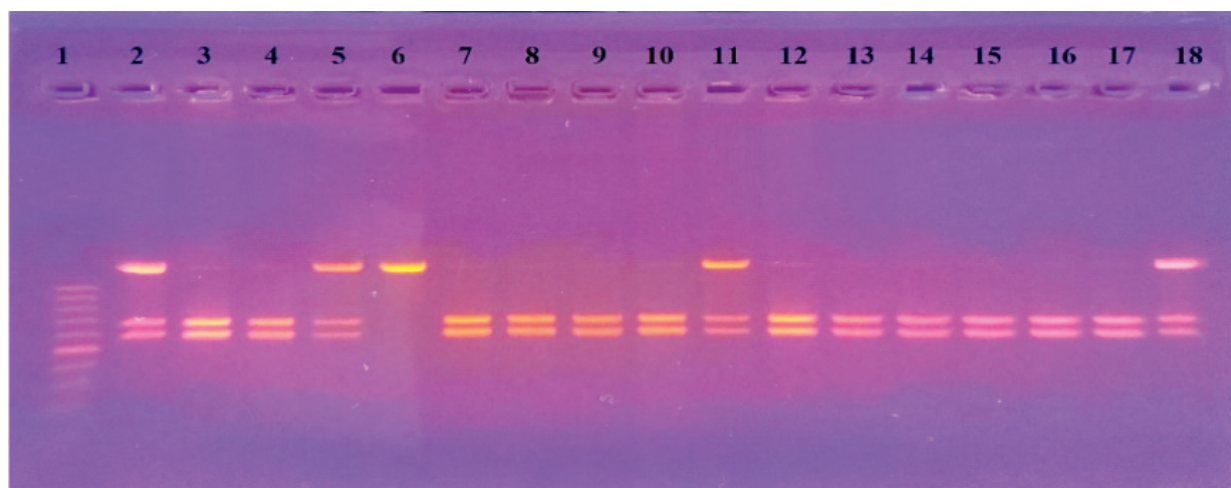


Рис. 1. Электрофореграмма результата ПЦР-ПДРФ гена кальпастанин (*CAST*) в 1,8%-м агарозном геле: 1 – ДНК-маркер 50 bp (Изоген); 3, 4, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17 – генотип MM; 2, 5, 11, 18 – генотип MN; 6 – генотип NN

Fig. 1. Electrophoregram of the result of PCR-RFLP gene of calpastatin (*CAST*) in 1.8% agarose gel: 1 – DNA marker 50 bp (Isogen); 3, 4, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17 – genotype MM; 2, 5, 11, 18 – genotype MN; 6 – genotype NN

Наличие ампликонов, их качество предварительно визуально оценивали после электрофоретического разделения продуктов реакции в 2–4%-м агарозном геле. При расщеплении амплифицированного участка гена *CAST* рестриктазой *MspI* при 37 °C идентифицировали следующие генотипы: *CAST*^{MM}, *CAST*^{MN}, *CAST*^{NN} (см. рис. 1).

Рестрикцию амплифицированного участка гена *GH* проводили эндонуклеазой *HaeIII*, при расщеплении продуктов амплификации регистрировали следующие генотипы: *GH*^{AA}, *GH*^{AB}, *GH*^{BB} (см. рис. 2).

Рестрикцию амплифицированного участка гена *GDF9* проводили эндонуклеазой *BstHNI* и идентифицировали следующие генотипы: *GDF9*^{AA}, *GDF9*^{AG}, *GDF9*^{GG} (см. рис. 3).

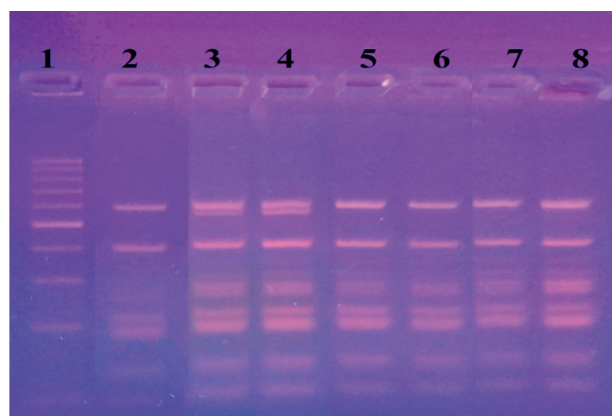


Рис. 2. Электрофореграмма результата ПЦР-ПДРФ гена гормона роста (*GH*) в 4,0%-м агарозном геле: 1 – ДНК-маркер 50 bp (Изоген); 2, 5, 6, 7, 8 – генотип AA; 3, 4 – генотип AB

Fig. 2. Electrophoregram of the result of PCR-RFLP gene of growth hormone (*GH*) in 4.0% agarose gel: 1 – DNA marker 50 bp (Isogen); 2, 5, 6, 7, 8 – genotype AA; 3, 4 – genotype AB

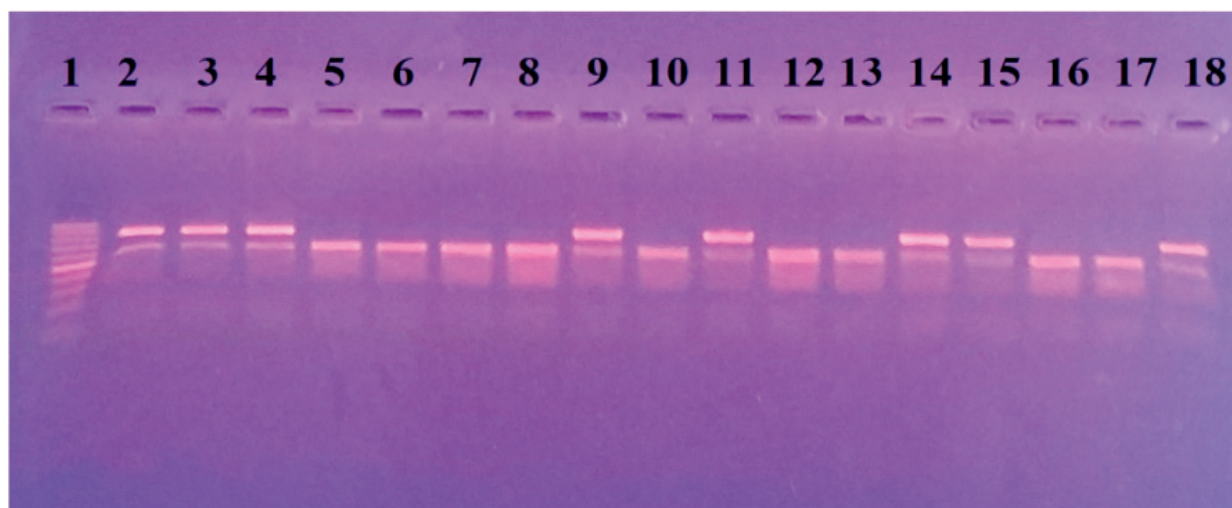


Рис. 3. Электрофореграмма результата ПЦР-ПДРФ гена дифференциального фактора роста (*GDF9*) в 2,0%-м агарозном геле: 1 – ДНК-маркер 50 bp (Изоген); 2, 3, 4, 9, 11, 14, 15, 18 – генотип AG; 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 16, 17 – генотип GG

Fig. 3. Electrophoregram of the result of PCR-RFLP gene of differential growth factor (*GDF9*) in 2.0% agarose gel: 1 – DNA marker 50 bp (Isogen); 2, 3, 4, 9, 11, 14, 15, 18 – genotype AG; 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 16, 17 – genotype GG

Для популяционно-генетической характеристики породы определяли уровень гомозиготности (*Ca*), число эффективно действующих аллелей (*Na*), степень генетической изменчивости (*V*), уровня фактической (*Ho*) и теоретической (*He*) ожидаемой гетерозиготности, тест гетерозиготности (ТГ) с использованием программного обеспечения GenAlEx 6.5 [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Генотипированием овец горно-алтайской породы установлено, что полиморфизм генов *CAST*, *GH*, *GDF9* представлен двумя аллелями, соответственно М и N; А и В; А и G, тремя генотипами – MM, NN, MN; AA, BB, AB; AA, GG, AG, с разной частотой встречаемости (см. табл. 2).

В гене *CAST* значительно чаще встречался аллель М (0,84), реже – аллель N (0,16), что обусловило достаточно высокую вариабельность частоты встречаемости гомозиготных (MM, NN) вариантов от 0,05 до 0,72. Частота встречаемости гетерозиготного варианта составила 0,23. В исследованиях ряда авторов установлено, что желательным для селекции овец в плане улучшения

Табл. 2. Частота встречаемости аллелей и генотипов генов *CAST*, *GH*, *GDF9* у овец горно-алтайской породы

Table 2. The frequency of alleles and genotypes of the *CAST*, *GH*, *GDF9* gene in the sheep of Gorno-Altai breed

Ген	Генотип	Частота встречаемости	
		генотип	аллель
<i>CAST</i>	MM	0,72 ± 0,07	
	NN	0,05 ± 0,01	М 0,84 N 0,16
	MN	0,23 ± 0,06	
<i>GH</i>	AA	0,70 ± 0,07	
	BB	0,08 ± 0,04	А 0,81 В 0,19
	AB	0,22 ± 0,06	
<i>GDF9</i>	AA	0,10 ± 0,05	
	GG	0,55 ± 0,08	А 0,27 G 0,73
	AG	0,35 ± 0,07	

качественных характеристик мяса является аллель N [9, 10]. В исследованной породе 27,5% животных являлись носителями данного аллеля в гомозиготном и гетерозиготном состоянии.

Для полиморфизма гормона роста *GH* характерна высокая (0,81) частота встречаемости аллеля А, низкая (0,19) – аллеля В, нашедшая отражение в присутствии гомозиготных (AA, BB) и гетерозиготного (AB) ге-

Табл. 3. Показатели генетической изменчивости в генах *CAST*, *GH*, *GDF9* у овец горно-алтайской породы

Table 3. Indicators of genetic variation in the *CAST*, *GH*, *GDF9* genes in sheep of Gorno-Altai breed

Ген	Показатель					
	<i>Ca</i> , %	<i>Na</i>	<i>Ho</i>	<i>He</i>	<i>V</i> , %	ТГ
<i>CAST</i>	73,1	1,37	0,290	0,368	24,4	–0,08 $\Phi < T^*$
<i>GH</i>	69,2	1,44	0,290	0,445	28,3	–0,15 $\Phi < T$
<i>GDF9</i>	60,6	1,65	0,538	0,651	36,9	–0,11 $\Phi < T$

* $\Phi < T$ – отклонение фактической частоты встречаемости гетерозигот (Φ) от теоретически ожидаемой (T)

нотипов с частотой встречаемости 0,70; 0,08 и 0,22. По данным исследователей, носители аллеля В характеризовались лучшим ростом и развитием, большей живой массой [8, 11]. В горно-алтайской породе выявлено 30,0% овец, в генотипе которых присутствовал аллель В.

Полиморфизм гена *GDF9* представлен аллелями А и G с частотой встречаемости соответственно 0,27 и 0,73. Распространение гомозиготных AA, GG-генотипов и гетерозиготного AG-генотипа составило соответственно 0,10; 0,55 и 0,35. Носителей селекционно-значимого аллеля А в плане улучшения воспроизводительных качеств в изученной породе установлено на уровне 45,0%.

Сравнительным анализом параметров аллелофонда и генетического своеобразия изучаемой популяции овец установлено, что величина их цифровых значений была достаточно вариабельной и зависела от гена. Так, уровень гомозиготности (*Ca*) гена *CAST*, свидетельствующей в определенной мере о консолидации популяции, находился в пределах 73,1, *GH* – 69,2, *GDF9* – 60,6%. Больше количество (1,65) эффективно действующих аллелей (*Na*) было характерно для гена *GDF9*, при сравнительно одинаковом (1,37 и 1,44) их распределении для генов *GH* и *CAST* (см. табл. 3).

Сопоставление уровня фактической (*Ho*) и теоретической (*He*) ожидаемой гетерозиготности свидетельствует о неоднозначности характера их распределения в зависимости от гена. Наивысшие показатели фактической и ожидаемой гетерозиготности были характерны для гена *GDF9*, составив-

шие соответственно 0,538 и 0,651. Для генов *CAST* и *GH* они были ниже и равнялись соответственно 0,290 и 0,368; 0,290 и 0,445 (см. табл. 3).

Наиболее высокая (36,9%) степень генетической изменчивости (*V*) характерна для гена *GDF9*, при 24,4 и 28,3% – для *CAST* и *GH*. Вариабельность изменчивости теста гетерозиготности (ТГ), отражающего отклонения частот встречаемости гетерозиготных генотипов от теоретически ожидаемой доли гетерозигот согласно закону Харди-Вайнберга, в изучаемых генах отмечена незначительной: от минус 0,08 для гена *CAST*, минус 0,15 и минус 0,11 для генов *GH* и *GDF9*, что свидетельствует о некотором недостатке гетерозигот.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализом результатов ДНК-диагностики овец горно-алтайской полутонкорунной породы установлено, что полиморфизм генов *CAST*, *GH*, *GDF9* представлен двумя аллелями, соответственно М и N; А и В; А и G, тремя генотипами – MM, NN, MN; AA, BB, AB; AA, GG, AG, с разной частотой встречаемости. Выявлено присутствие генотипов, несущих аллели, желательных в селекции для повышения мясной продуктивности (*CAST^{NN}*, *CAST^{MN}*), ускорения роста и развития (*GH^{BB}*, *GH^{AB}*) и воспроизводительной способности (*GDF9^{AA}*, *GDF9^{AG}*) на уровне 27,5; 30,0 и 45,0%. Результаты исследований показали перспективность включения в селекционные программы совершенствования горно-алтайской породы овец тестирование, отбор и подбор по изученным генам. Показатели степени гомозиготности изучен-

ных генов, с одной стороны, свидетельствуют о консолидации генофонда этой породы, с другой – об уровне полиморфности и гетерозиготности этих генов, указывают на необходимую генетическую изменчивость, способную обеспечить селекционный прогресс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данкверт С.А., Холманов А.М., Осадчая О.Ю. Овцеводство стран мира. Дубровицы: ВИЖ, 2011. 508 с.
2. Столповский Ю.А., Захаров-Гезехус И.А. Проблема сохранения генофондов domesticированных животных // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21. № 4. С. 477–486. DOI: 10.18699/VJ17.266.
3. Косилов В.И., Салаев Б.К., Юлдашбаев Ю.А., Иргашев Т.А., Арилов А.Н. Эффективность использования генетических ресурсов овец в разных природно-климатических условиях: монография. Элиста: издательство Калмыцкого университета, 2019. 205 с.
4. Денискова Т.Е., Доцев А.В., Гладырь Е.А., Сермягин А.А., Багиров В.А., Хомподоева У.В., Ильин А.Н., Брем Г., Зиновьева Н.А. Валидация панели SNP-маркеров для контроля происхождения локальных российских пород овец // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 6. С. 746–755. DOI: 10.115389/agrobiology.2016.2.264rus.
5. Зиновьева Н.А., Костюнина О.В., Гладырь Е.А., Банникова А.Д., Харзинова В.Р., Ларионова П.В., Шавырина К.М., Эрнст Л.К. Роль ДНК-маркеров признаков продуктивности сельскохозяйственных животных // Зоотехния. 2010. № 1. С. 8–10.
6. Трухачев В.И., Селионова М.И., Криворучко А.Ю., Айбазов А.М. Генетические маркеры мясной продуктивности овец (*Ovis Agries* L.). Сообщение I. Миостатин, кальпаин, кальпастан // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 6. С. 1107–1119. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.6.1107rus.
7. Zhou H., Hickford J.G.H., Gong H. Polymorphism of the ovine calpastatin gene // Molecular and Cellular Probes. 2007. Vol. 21. N 3. P. 242–244. DOI: 10.1016/j.mcp.2006.10.004.
8. Gorlov I.F., Kolosov Y.A., Shirokova N.V., Getmantseva L.V., Slozhenkina M.I., Mosolova N.I., Bakoev N.F., Leonova M.A., Kolosov A.Yu., Zlobina E.Yu. Association of the growth hormone gene polymorphism with growth traits in Salsk sheep breed // Small Ruminant Research. 2017. Vol. 150. P. 11–14. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2017.02.019.
9. Palmer B.R., Morton J.D., Roberts N., Illian M.A., Bickerstaffe R. Marker-assisted selection for meat quality and the ovine calpastatin gene // New Zealand Society of Animal Production. 1999. Vol. 59. P. 266–268.
10. Pomponio L., Erthjerg P. The effect of temperature on the activity of μ and m-calpain and calpastatin during post-mortem storage of porcine longissimus muscle // Meat Science. 2012. Vol. 91. N 1. P. 50–55. DOI: 10.1016/j.meatsci.2011.12.005.
11. Malewa A.D., Hakim L., Maylinda S., Husain M.H. Growth hormone gene polymorphisms of Indonesia fat tailed sheep using PCR-RFLP and their relationship with growth traits // Livestock Research for Rural Development. 2014. Vol. 26. № 6. P. 324–331.
12. Othman L.A., Althwani A.N., Jabbar A. Growth hormone gene in Iraqi and Turkish Awassi sheep using PCR-RFLP // World Journal of Pharmaceutical Research. 2016. Vol. 5. N 1. P. 87–93.
13. Hanrahan J.P., Gregan S.M., Mulsant P., Mullen M., Davis G.H., Powell R., Galloway S. 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. 2004. Vol. 70. P. 900–909. DOI: 10.1095/biolreprod.103.023093.
14. Getmantseva L., Bakoev N., Bakoev S., Shirokova N., Kolosova M., Kolosov A., Kolosov Y., Usatov A., Shevtsova V. Effect of the GDF9 gene on the weight of lambs at birth // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2019. Vol. 25. N 1. P. 153–157.
15. Подкорытов А.Т., Селионова М.И., Подкорытов Н.А., Подкорытов А.А. Овцеводство и козоводство Республики Алтай: состояние, проблемы, решение // Зоотехния. 2018. № 10. С. 8–11.
16. 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. DOI: 10.1093/bioinformatics/bts46.

REFERENCES

1. Dankvert S.A., Kholmanov A.M., Osadchaya O.Yu. *Ovtsevodstvo stran mira* [Sheep farming]. VIZh, Dubrovitsy [Federal Science Centre for Animal Husbandry, Dubrovitsy], 2011, 508 p. (In Russian).
2. Stolpovskii Yu.A., Zakharov-Gezekhus I.A. Problema sokhraneniya genofondov domestitsirovannykh zhivotnykh [The problem of conservation of gene pools of domesticated animals]. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii* [Vavilov Journal of Genetics and Breeding], 2017, vol. 21, no. 4, pp. 477–486. (In Russian). DOI: 10.18699/VJ17.266.
3. Kosilov V.I., Salaev B.K., Yuldashbaev Yu.A., Irgashev T.A., Arilov A.N. *Effektivnost' ispol'zovaniya geneticheskikh resursov ovets v raznykh prirodno-klimaticheskikh usloviyakh* [The effectiveness of the use of genetic resources of sheep in different climatic conditions]. Elista, izdatel'stvo Kalmytского universiteta, 2019, 205 p. (In Russian).
4. Deniskova T.E., Dotsev A.V., Gladyr' E.A., Sermiyagin A.A., Bagirov V.A., Khompodoeva U.V., Ilyin A.N., Brem G., Zinovieva N.A. Validatsiya paneli SNP-markerov dlya kontrolya proiskhozhdeniya lokal'nykh rossiiskikh porod ovets [Validation of the SNP panel for parentage assignment in local Russian sheep breeds] *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural biology], 2015, no. 50 (6), pp. 746–755. (In Russian). DOI: 10.115389/agrobiology.2016.2.264rus.
5. Zinov'eva N.A., Bannikova A.D., Gladyr' E.A., Kostyunina O.V., Kharzinova V.R., Larionova P.V., Shavyrina K.M., Ernst L.K. Rol' DNK-markerov priznakov produktivnosti sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh [The role of DNA markers of farm animal productivity traits]. *Zootekhniya* [Zootechniya], 2010, no. 1, pp. 8–10. (In Russian).
6. Trukhachev V.I., Selionova M.I., Krivoruchko A.Yu., Aibazov A.M.M. Geneticheskie markery myasnoi produktivnosti ovets (Ovis Aries L.). Soobshchenie I. Miostatin, kal'pain, kal'pastatin [Genetic markers of sheep meat productivity (Ovis Aries L.). Message I. Myostatin, Calpain, Calpastatin]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural biology], 2018, vol. 53, no. 6, pp. 1107–1119. (In Russian). DOI: 10.15389/agrobiology.2018.6.1107rus.
7. Zhou H., Hickford J.G.H., Gong H. Polymorphism of the ovine calpastatin gene. *Molecular and Cellular Probes*, 2007, vol. 21, no. 3, pp. 242–244. DOI: 10.1016/j.mcp.2006.10.004.
8. Gorlov I.F., Kolosov Y.A., Shirokova N.V., Getmantseva L.V., Slozhenkina M.I., Mosolova N.I., Bakoev N.F., Leonova M.A., Kolosov A.Yu., Zlobina E.Yu. Association of the growth hormone gene polymorphism with growth traits in Salsk sheep breed. *Small Ruminant Research*, 2017, no. 150, pp. 11–14. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2017.02.019.
9. Palmer B.R., Morton J.D., Roberts N., Illian M.A., Bickerstaffe R. Marker-assisted selection for meat quality and the ovine calpastatin gene. *New Zealand Society of Animal Production*, 1999, no. 59, pp. 266–268.
10. Pomponio L., Ertbjerg P. The effect of temperature on the activity of μ and m-calpain and calpastatin during post-mortem storage of porcine longissimus muscle. *Meat Science*, 2012, vol. 91, no 1, pp. 50–55. DOI: 10.1016/j.meatsci.2011.12.005.
11. Malewa A.D., Hakim L., Maylinda S., Husain M.H. Growth hormone gene polymorphisms of Indonesia fat tailed sheep using PCR-RFLP and their relationship with growth traits. *Livestock Research for Rural Development*, 2014, vol. 26, no. 6, pp. 324–331.
12. Othman L.A., Althwani A.N., Jabbar A. Growth hormone gene in Iraqi and Turkish Awassi sheep using PCR-RFLP. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 2016, vol. 5, no. 1, pp. 87–93.
13. Hanrahan J.P., Gregan S.M., Mulsant P., Mullen M., Davis G.H., Powell R., Galloway S. 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*, 2004, no. 70, pp. 900–909. DOI: 10.1095/biolreprod.103.023093.
14. Getmantseva L., Bakoev N., Bakoev S., Shirokova N., Kolosova M., Kolosov A., Kolosov Y., Usatov A., Shevtsova V. Effect of the GDF9 gene on the weight of lambs at birth. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2019, vol. 25, no. 1, pp. 153–157.
15. Podkorytov A.T., Selionova M.I., Podkorytov N.A., Podkorytov A.A. Ovtsevodstvo i kozovodstvo Respubliki Altai: sostoyanie, problema, reshenie [Sheep and goat breeding of the

Altai Republic: state, problems, solution]. *Zootekhnika* [Zootechnika], 2018, no. 10, pp. 8–11. (In Russian).

16. 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, pp. 2537–2539. DOI: 10.1093/bioinformatics/bts46.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Селионова М.И.**, доктор биологических наук, профессор РАН, руководитель научного направления; **адрес для переписки:** 355017, Ставрополь, пер. Зоотехнический, 15; e-mail: m_selin@mail.ru

Чинова Л.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий лабораторией; e-mail: ummunogenetika@yandex.ru

Суржикова Е.С., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник; e-mail: ummunogenetika@yandex.ru

Подкорытов Н.А., старший научный сотрудник; e-mail: ganiish@mail.ru

Подкорытов А.Т., доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник; e-mail: ganiish@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Selionova M.I.**, Doctor of Science in Biology, Professor RAS, Head of Research Division; **address:** 15 Zootechnichesky, Stavropol, 355017, Russia; e-mail: m_selin@mail.ru

Chizhova L.N., Doctor of Science in Agriculture, Professor, Laboratory Head; e-mail: ummunogenetika@yandex.ru

Surzhikova E.S., Candidate of Science in Agriculture, Senior Researcher; e-mail: ummunogenetika@yandex.ru

Podkorytov N.A., Senior Researcher; e-mail: ganiish@mail.ru

Podkorytov A.T., Doctor of Science in Agriculture, Head Researcher; e-mail: ganiish@mail.ru

Финансовая поддержка

Исследования выполнены за счет бюджетного финансирования ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» по теме 0513-2019-0002

Дата поступления статьи 20.12.2019
Received by the editors 20.12.2019