DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-4-136-157
УДК 636.082.12:636.32/.38

CC BY NC ND

Научная статья

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГЕНОТИПИРОВАНИЯ ДЛЯ ОТБОРА ЖИВОТНЫХ ЖЕЛАТЕЛЬНОГО ТИПА

А.И. Суров, С.Н. Шумаенко, А.А. Омаров, Е.Д. Карпова, Д.Д. Евлагина, Е.Н. Чернобай, И.И. Дмитрик, Е.С. Суржикова, Н.И. Ефимова, С.С. Бобрышов

Современное овцеводство должно базироваться на производстве высококачественной продукции, получаемой от овец. Знание пределов потенциала продуктивности животных делает управление селекционным процессом наиболее эффективным. Применение метода ПЦР-ПДРФ позволяет определять аллельные варианты генов, связанных с количественными и качественными характеристиками животных. Идентифицируя различные полиморфные вариации и их фенотипические проявления, можно создавать, а также пополнять базу данных для управления генетической прогрессией селекционно значимых признаков. В статье определен полиморфизм генов гормона роста (GH), кальпастатина (CAST), дифференциального фактора роста (GDF9) подопытных животных и отражена ассоциативная связь динамики роста и развития помесных ярок разного происхождения (матки российского мясного мериноса и производители импортной селекции). В статье делается вывод о том, что для увеличения мясной продуктивности овец хозяйствам необходимо отдавать предпочтение животным-носителям генов с выявленным желательным генотипом по изучаемым полиморфизмам, а также учитывать их наличие в процессе селекции.

Ключевые слова: *овцы; порода; российский мясной меринос; шароле; иль-де-франс; полл дорсет; полиморфизм; гены; GH; CAST; GDF9; мясная продуктивность; промеры телосложения; живая масса*

Для цитирования. *Суров А.И., Шумаенко С.Н., Омаров А.А., Карпова Е.Д., Евлагина Д.Д., Чернобай Е.Н., Дмитрик И.И., Суржикова Е.С., Ефимова Н.И., Бобрышов С.С. Использование метода генотипирования для отбора животных желательного типа // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №4. С. 136-157. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-4-136-157*

Original article

THE USE OF GENOTYPING TO SELECT DESIRED-TYPE ANIMALS

A.I. Surov, S.N.Shumaenko, A.A. Omarov, E.D. Karpova, D.D. Evlagina, E.N. Chernobay, I.I. Dmitrik, E.S. Surzhikova, N.I. Efimova, S.S. Bobryshov

Modern sheep breeding should be based on the production of high quality sheep products. Knowing the limits of animal productivity potential allows to manage the breeding process in the most effective way. Applying PCR-RFLP method makes it possible to identify allelic variants of genes associated with quantitative and qualitative characteristics of animals. By identifying different polymorphic variations and their phenotypic manifestations, one can create and replenish a database for managing the genetic progression of breeding-significant traits.

The paper determines the gene polymorphism of growth hormone (GH), calpastatin (CAST) and growth differentiation factor (GDF9) of experimental animals and reflects an associative connection between the dynamics of growth and that of development of crossbred one-shear sheep of different origin (Russian meat merino ewes and imported producers). The article concludes that in order to increase sheep meat productivity, farms should give preference to animals carrying genes with the identified desired genotype on the studied polymorphisms and take into account their presence in the breeding process.

Keywords: *sheep; breed; Russian meat merino; Charollais; Île-de-France; Poll Dorset; polymorphism; genes; GH; CAST; GDF9; meat productivity; body measurements; live weight*

For citation. *Surov A.I., Shumaenko S.N., Omarov A.A., Karpova E.D., Evlagina D.D., Chernobay E.N., Dmitrik I.I., Surzhikova E.S., Efimova N.I., Bobryshov S.S. The Use of Genotyping to Select Desired-Type Animals. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 136-157. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-4-136-157*

Введение

Современная селекция базируется на достижениях генетики и является основой эффективного высокопродуктивного сельского хозяйства и биотехнологии.

В основу системы генетического совершенствования пород сельскохозяйственных животных, наряду с селекцией по фенотипу, должны быть положены углубленная оценка генотипа, целенаправленный поиск удачных сочетаний пар и пород при спаривании [8, 12].

В настоящее время наибольшее внимание в овцеводстве уделяется мясному направлению продуктивности. Повышение мясной продуктивности и улучшение качества мяса рассматриваются сегодня как приоритеты при повышении эффективности отрасли. Наиболее значимые результаты в мясном овцеводстве получены благодаря использованию достижений генетики [1, 2, 14].

Основной тенденцией развития овцеводства, в последнее десятилетие, является рост производства баранины во всем мире и этим объясняется увеличение доли специализированных мясных пород и возрастающие требования к мясной продуктивности овец [9, 10, 15].

Геномная селекция является основой решения задач, влияющих на повышение эффективности отрасли овцеводства и соответствия продукции отечественных пород мировым стандартам качества. Внедрение методов геномной селекции будет способствовать развитию овцеводства, и повышению его конкурентоспособности и рентабельности [4].

На сегодняшний день появилась возможность выявления значительного числа генетических полиморфизмов на основе последовательности ДНК и использования их как маркеров с целью оценки генетической основы наблюдаемой фенотипической изменчивости признаков [5, 11, 13].

Начиная с 1970-х годов, наступление эры молекулярной генетики предоставило новые возможности для улучшения селекционных программ в животноводстве с использованием ДНК-маркеров для идентификации генов или геномных областей, которые контролируют интересующие селекционеров признаки [19, 20].

Благодаря методам современной генетики предоставляется возможность проведения генотипирования животных с помощью молекулярных маркеров и отбора, лучших по продуктивности на ранних стадиях роста и развития [3, 4].

Особый интерес вызывает группа генов, кодирующих факторы роста, их рецепторы, транспортные и регуляторные белки, то есть те, которые оказывают значительное воздействие на улучшение морфологического состава туши, качество мяса и увеличение производства баранины. К наиболее изученным генам-кандидатам мясной продуктивности у овец

относят: гормон роста (*GH*) и кальпастатин (*CAST*), а также ген, контролирующий воспроизводительные качества – дифференциальный фактор роста (*GDF9*) [16].

Научная новизна заключается в том, что впервые на Юге нашей страны с использованием методов генотипирования, ведется работа над созданием новой породы овец скороспелого мясо-шерстного направления продуктивности для повышения конкурентоспособности овцеводства.

Целью наших исследований является работа по созданию овец новой формации, успешно сочетающих в себе такие показатели как: скороспелость, плодовитость, высокие откормочные качества и мясную продуктивность при сохранении мериносовой шерсти на животных.

Материалы и методы исследования

С целью развития мясного направления овцеводства на территории Северного Кавказа в 2019 году на опытно-экспериментальное подразделение Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» были завезены бараны-производители пород зарубежной селекции: шароле, иль-де-франс, полл дорсет, тексель, свифтер. Для проведения исследований были выбраны бараны-производители пород шароле и иль-де-франс, бараны и овцематки породы российский мясной меринос, а также полученный молодняк первого поколения (F1). Лабораторные исследования проводились в лицензированных лабораториях ВНИИОК-филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ».

Генотипирование в локусах генов гормона роста (*GH*), кальпастатина (*CAST*), дифференциального фактора роста (*GDF9*) проводилось методом ПЦР-ПДРФ (полиморфизм длин рестрикционных фрагментов) путём разрезания ДНК с помощью эндонуклеаз рестрикции и дальнейшего анализа размеров образующихся фрагментов ПЦР осуществлялась на программируемом четырехканальном термоциклере «Терцик» фирмы «ДНК-технология» (Россия) в объёме 20 мкл включая все необходимые для проведения реакции компоненты ПЦР: Taq ДНК полимераза, смесь дезоксинуклеозидтрифосфатов, Mg^{2+} и реакционный буфер, матрицу ДНК и воду. В научно-производственной лаборатории «Синтол» для постановки амплификации были синтезированы специфические олигонуклеотидные последовательности (праймеры) для исследуемых генов *CAST*, *GH, GDF9* (таблица 1).

Таблица 1.

Характеристика условий ПЦР-ПДРФ для исследуемых полиморфных генов

Нуклеотидные последовательности	Т °С, отжига	Ампли-фикат, (п.н.)	Эндону-клеаза	Сайт узнавания рестрик-тазы	Гено-типы
CAST					
F: 5′–TGGGGCCCAATGCGCCATCGATG–3; R:5′–GGTGGAGCACCTCTGATGACC–3	62	622	MspI	C↑CGG GGC↓C	MM/NN/ MN
GH					
F:5’–GGAGGCAGGAAGGGATGAA–3’ R:5’–CCAAGGGAGGGAGAGACAGa–3’	60	277	HaeIII	GG↑CC CC↓GG	AA/AB/ BB
GDF9					
F:5’- GAAGACTGGTATGGGGAAATG -3’ R:5’-CCAATCTGCTCCTACACACCT -3’	58	462	BstHH I	GCG↑C C↓GCG	AA/AG/ GG

Методом горизонтального гель-электрофореза определялось число и длина рестрикционного фрагмента в агарозном геле разной концентрации от 1,5 до 4,0%, с присутствием 10,0% бромистого этидия (10,0 мкл) при ультрафиолетовом свете. Стандартный набор «Gene Pak DNA Markers» M50 использовался в качестве маркера молекулярных масс (рисунки 1, 2, 3).

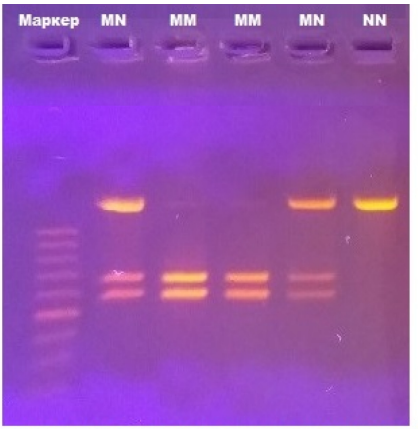

Рисунок 1 – Электрофореграмма результатов ПЦР-ПДРФ по гену *CAST*

$CAST^{MM}$ – фрагменты 336 и 286 п.н.;

$CAST^{NN}$ – фрагмент 622 п.н.;

$CAST^{MN}$ – фрагменты 622, 336 и 286 п.н.

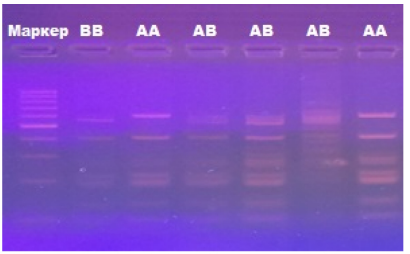

Рисунок 2 – Электрофореграмма результатов ПЦР-ПДРФ по гену *GH*
GH^{AA} – фрагменты 277, 202, 110, 100, 94, 68, 49, 22, 8 и 4 п.н;
GH^{BB} – фрагменты 256, 202, 110, 100, 94, 68, 49, 22, 8 и 4 п.н.;
GH^{AB} – фрагменты 277, 256, 202, 110, 100, 94, 68, 49, 22, 8 и 4 п.н.

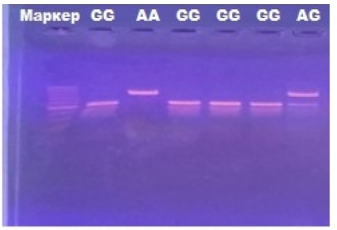

Рисунок 3 – Электрофореграмма результатов ПЦР-ПДРФ по гену *GDF9*
$GDF9^{AA}$ – фрагмент 462 п.н.; $GDF9^{GG}$ – фрагменты 250, 220 п.н.;
$GDF9^{AG}$ – фрагменты 250, 220 и 462 п.н.

Была проведена сравнительная характеристика продуктивных показателей баранов-производителей зарубежной селекции, в частности у них изучены: живая масса, шерстная продуктивность, промеры и индексы телосложения.

Анализ данных

Обработка цифрового материала исследований осуществлялась с использованием компьютерных программ BioStat, пакета программ «Microsoft Office» и методом вариационной статистики (Орлова Н.Н., 1991) с определением достоверности различий по t-критерию Стьюдента при трёх уровнях вероятности (*p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001).

Подсчёт частоты встречаемости генотипов определялся по формуле:

$$p = \frac{n}{N}, \quad (1)$$

где p – частота определенного генотипа;

n – количество животных, имеющих определенный генотип;

N – общее число животных.

Расчёт частоты встречаемости аллелей осуществлялся по формуле:

$$P(A) = \frac{2N1+N2}{2n}, \quad (2)$$

где: P – частота встречаемости аллелей;

N_1 – число гомозиготных генотипов по исследуемому аллелю;

N_2 – число гетерозиготных генотипов;

n – количество всех животных.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенными исследованиями установлены различия в интенсивности роста и развития, мясной и шерстной продуктивности у баранов-производителей зарубежной селекции (таблица 2).

Таблица 2.

Сравнительная характеристика баранов-производителей разных пород

Показатели	Порода					
	свифтер	иль-де-франс	тексель	полл дорсет	шароле	российский мясной меринос
Живая масса, кг	80,5±1,50	101,7±3,92	74,9±1,33	101,5±4,73	113,6±4,03	101,8±2,41
Тонина шерсти, мкм	28,37±0,56	23,28±0,41	29,92±0,45	28,29±0,14	29,89±0,53	20,9±0,35
Высота в холке, см	72,5±2,21	75,0±0,01	68,0±0,57	71,0±1,29	72,8±1,83	80,7±0,65
Высота в крестце, см	71,5±1,89	73,5±0,28	67,6±0,33	71,0±1,29	73,8±1,98	80,9±0,26
Косая длина туловища, см	76,25±0,62	79,5±0,64	76,7±0,67	80,5±2,72	83,4±1,53	80,9±1,22
Глубина груди, см	29,5±0,50	31,5±0,95	26,6±0,33	31,7±1,65	29,8±1,49	37,5±0,79
Ширина груди, см	35,0±0,41	36,2±0,63	35,7±0,88	35,5±0,64	37,4±0,74	32,8±0,94
Обхват груди, см	108,75±2,95	118,7±2,59	102,3±0,66	111,0±1,58	113,0±3,14	116,5±2,31
Обхват пясти, см	8,25±0,25	10,5±0,29	8,6±0,33	10,7±0,47	10,7±0,20	9,77±0,17
Ширина в маклоках, см	20,5±0,29	20,7±0,25	20,0±0,57	21,0±0,40	23,6±1,07	20,5±0,37

Сравнительный анализ показал, что наибольшей живой массой в 1,5-летнем возрасте отличаются бараны породы шароле – 113,6 кг. По этому показателю они превосходят баранов пород: свифтер – на 33,1 кг, или 41,1%; полл дорсет – 12,1 кг, или 11,9%; иль-де-франс – 11,9 кг, или 11,7%. Самыми мелкими оказались бараны породы тексель – 74,9 кг и российских мясных мериносов на 11,8 кг или на 11,6%.

Измерение отдельных статей телосложения позволяет отметить, что бараны породы шароле, имея наибольшую живую массу, отличаются максимальными показателями таких промеров как: ширина груди, ширина в

маклоках и косая длина туловища. По этим промерам они превосходят животных других пород на 3,3-14,0; 12,3-18,0, 3,1-9,4 % соответственно. По обхвату груди не оказалось равных баранам породы иль-де-франс, сверстники других пород уступали им по этому показателю на 1,9-16,0 %.

Анализ результатов шерстной продуктивности баранов-производителей зарубежной селекции показал, что наименьшим диаметром шерстного волокна отличаются животные породы иль-де-франс – 23,28 мкм. У баранов-производителей пород полл дорсет, свифтер, шароле и тексель тонина шерсти варьировала в диапазоне 28,29 – 29,92 мкм. Животные породы иль-де-франс имели и уравненность по руну – 0,74, в то время как производители других зарубежных пород характеризовались неуравненной шерстью.

Наименьшей тониной шерсти характеризовались отечественные бараны породы российский мясной меринос – 20,9 мкм.

С учетом полученных выше результатов для дальнейшей селекционной работы были выбраны бараны-производители пород шароле (Ш), иль-де-франс (ИДФ) и матки отечественной породы российский мясной меринос (РММ).

Плодовитость объягнившихся маток, осеменённых, баранами породы российский мясной меринос составила 142,1 %, тогда как в других группах скрещенных с баранами пород шароле и иль-де-франс была выше на 10,5 и 9,6 абс. процентов соответственно.

Известно, что путём целенаправленного подбора родительских пар может быть увеличена численность животных с желательным набором генетических признаков. В научной литературе многими отечественными исследователями установлено влияние генетического полиморфизма генов-кандидатов на продуктивные признаки овец [17].

Проведенные ранние исследования ДНК-генотипирования, данные Колосова Ю.А. и соавторов, по сравнению показателей роста и развития у ремонтного молодняка овец сальской породы в зависимости от генотипов по гену кальпастатин (*CAST*) показали, что животные – носители гетерозиготного $CAST^{MN}$ генотипа имели живую массу при рождении больше, чем животные сверстники гомозиготного варианта $CAST^{MM}$. Также было установлено, что наличие у баранчиков этой породы гетерозиготного GH^{AB} генотипа оказывает положительное влияние на темпы роста [6, 7]. По результатам исследования гена дифференциального фактора роста (*GDF9*) проведенным Gorlov I.F. и соавторами известно, что у овец сальской и волгоградской породы были отмечены более высокие показатели плодовитости у носителей гетерозиготного $GDF9^{AG}$ генотипа по сравнению с особями носителями гомозиготныго $GDF9^{GG}$ генотипа [18].

В связи с этим можно предположить, что аллель *N* гена *CAST* – ассоциируется с нежностью мяса; аллель *B* гена *GH* – с приростом живой массы; а аллель *A* гена *GDF9* – с воспроизводительными качествами и энергией роста животных.

Методом ДНК-генотипирования у баранов-производителей разных пород установлено присутствие желательных аллелей в генах кальпастатина (*CAST)*, гормона роста (*GH)*, дифференциального фактора роста (*GDF9*), маркирующих высокую продуктивность (таблица 3).

Таблица 3.

Полиморфизм генов *CAST*, *GH*, *GDF9* у баранов-производителей разных пород

Порода	Маркерные гены									Число селекционно значимых генетических маркеров
	CAST			*GH*			*GDF9*			
	MM	NN	MN	AA	BB	AB	AA	GG	AG	
Шароле		NN				AB			AG	4 аллеля 3-х генов
Иль-де-франс			MN			AB			AG	3 аллеля 3-х генов
Российский мясной меринос			MN			AB		GG		2 аллеля 2-х генов

При изучение аллельного профиля генов *GH, CAST, GDF9* было выявлено, что баран-производитель породы шароле является носителем 4-х желательных аллелей по трём маркерным генам ($CAST^{NN}/GH^{AB}/GDF9^{AG}$), породы иль-де-франс – носитель 3-х аллелей 3-х генов ($CAST^{MN}/GH^{AB}/GDF9^{AG}$), а также отмечено присутствие двух маркерных аллелей по генам кальпастатина и гормона роста ($CAST^{MN}/GH^{AB}/GDF9^{GG}$) у российского мясного мериноса.

Следующим этапом работы было изучение полиморфизма исследуемых генов у овцематок породы российский мясной меринос.

Анализируя полученные результаты ДНК-генотипирования, методом ПЦР-ПДРФ, исследуемого поголовья овцематок породы РММ установлена в 7,3 раза значительная разница по превосходству (0,88) частоты встречаемости аллеля $CAST^{M}$ гена кальпастатин над селекционно-значимым аллелем $CAST^{N}$ (0,12), что, в свою очередь, обусловило присутствие носителей желательных вариантов гомозиготного $CAST^{NN}$ и гетерозиготного $CAST^{MN}$ генотипа в изучаемой выборки животных составившей 3,0 и 17,0 % (таблица 4).

Анализ полученных результатов показал, что полиморфизм гена гормона роста (*GH)* в исследуемой выборке овцематок российского мясного мериноса представлен двумя аллелями GH^{A} и GH^{B} с очень низкой (0,07)

частотой встречаемости аллеля GH^B, но высокой (0,93) аллеля GH^A. В данной выборке наблюдается низкая 3,0 и 7,0% частота встречаемости животных-носителей селекционно-значимого гомозиготного GH^{BB} и гетерозиготного GH^{AB} генотипов.

Таблица 4.

Аллельный спектр генов *CAST*, *GH*, *GDF9* у овцематок породы российский мясной меринос

Ген	Частота встречаемости				
	аллелей		генотипа		
CAST	*M*	*N*	*MM*	*MN*	*NN*
	0,88	0,12	0,80	0,17	0,03
GH	*A*	*B*	*AA*	*AB*	*BB*
	0,93	0,07	0,90	0,07	0,03
GDF9	*A*	*G*	*AA*	*AG*	*GG*
	0,13	0,87	0,03	0,20	0,77

Частота встречаемости аллеля $GDF9^A$ в гене дифференциального фактора роста в выборке овцематок данной породы составила 0,13, а аллеля $GDF9^{G-0,87,}$ что нашло отражение в наличии вариантов гомо- и гетерозиготных генотипов. Так частота встречаемости животных-носителей гомозиготного $GDF9^{AA}$ генотипа составила – 3,0%, а 20,0% гетерозиготного $GDF9^{AG}$.

Метод генотипирования позволяет изучить наследственность на уровне ДНК, что важно в условиях крупномасштабной селекции, когда от одного производителя получают множество тысяч потомков. В результате проведения скрещивания баранов-производителей разных пород (шароле, иль-де-франс, российского мясного мериноса) с овцематками породы российский мясной меринос был получен помесный и чистопородный молодняк первого поколения (F1). У полученного ремонтного молодняка (F1) изучены особенности полиморфизма генов *GH*, *CAST*, *GDF9*.

В таблицах 5 и 6 представлены результаты ДНК-генотипирования помесных ярок (F1) по изучаемым генам.

Анализ результатов показал, что частота встречаемости селекционно-значимого аллеля $CAST^N$ гена кальпастатин в выборках помесного молодняка овец, полученного от производителей пород шароле и иль-де-франс, была практически одинаковой (0,22 и 0,26), при этом, у чистопородных ярок породы российский мясной меринос отмечена низкая (0,10) частота встречаемости $CAST^N$ аллеля, доля животных носителей желательной аллели составила 39,0; 35,0 и 14,0% соответственно.

Таблица 5.

Аллельный спектр генов *CAST, GH, GDF9* у ремонтного молодняка овец

Генотип	Маркерные гены					
	CAST		*GH*		*GDF9*	
	M	*N*	*A*	*B*	*A*	*G*
РММ × Ш	0,78	0,22	0,72	0,28	0,28	0,72
РММ × ИДФ	0,74	0,26	0,65	0,35	0,32	0,68
РММ × РММ	0,90	0,10	0,87	0,13	0,07	0,93

Таблица 6.

Полиморфизм генов *CAST, GH, GDF9* у молодняка овец разных генотипов

Генотип	Маркерные гены								
	CAST			*GH*			*GDF9*		
	MM	*MN*	*NN*	*AA*	*AB*	*BB*	*AA*	*AG*	*GG*
РММ × Ш	0,61	0,33	0,06	0,56	0,33	0,11	0,17	0,22	0,61
РММ × ИДФ	0,65	0,17	0,18	0,35	0,59	0,06	0,29	0,06	0,65
РММ × РММ	0,86	0,07	0,07	0,80	0,13	0,07	0	0,13	0,87

Полиморфизм в локусе гена гормона роста (*GH*) у исследованного помесного поголовья (РММ×Ш и РММ×ИДФ), выявил сравнительно одинаковую частоту встречаемости (0,28 и 0,35) желательного аллеля GH^B, тогда как у чистопородных животных (РММ × РММ) преобладает аллель GH^A. Выявленная ситуация нашла отражение в частоте встречаемости гомозиготного и гетерозиготного (GH^{BB} и GH^{AB}) желательного генотипа, составившая: у РММ×Ш – 44,0; РММ×ИДФ – 55,0; а у РММ × РММ – 20,0 %.

Распределение желательного аллеля $GDF9^A$ гена дифференциального фактора роста у помесного молодняка (РММ×Ш, РММ×ИДФ) и чистопородного (РММ × РММ) (F1) составило 0,28; 0,32 и 0,07. Частота встречаемости гомозиготного $GDF9^{AA}$ и гетерозиготного $GDF9^{AG}$ генотипов, у помесного (F1) поколения: РММ×Ш – 17,0 и 22,0 %; РММ×ИДФ– 29,0 и 6,0 %. У чистопородного молодняка породы РММ наблюдалось отсутствие желательного гомозиготного $GDF9^{AA}$ генотипа, а частота встречаемости гетерозиготного $GDF9^{AG}$ генотипа составила – 13,0 %.

Получены сведения об интенсивности роста помесных ярок, полученных от производителей пород шароле, иль-де-франс, и чистопородных сверстниц, полученных от баранов РММ на основе выявленных полиморфизмов генов *CAST*, *GH* и *GDF9*.

Анализ показателей роста и развития – живой массы и среднесуточных приростов у помесных ярок носителей разных генотипов выявил обще-

биологическую закономерность, сводившуюся к увеличению изучаемых показателей (таблицы 7, 8 и 9).

Таблица 7.

Динамика роста помесных ярок (РММ×Ш)

Маркерный ген/генотип	Живая масса, кг		Среднесуточный прирост, г
	при рождении	после отъёма (4 месяца)	
CAST			
$CAST^{MM}$	3,2±0,96	32,4±1,29	243,3
$CAST^{NN}$	3,4±0,78	34,1±1,12	255,8
$CAST^{MN}$	3,3±0,77	33,8±1,42	254,1
GH			
GH^{AA}	3,1±0,66	32,2±1,19	242,5
GH^{BB}	3,3±0,38	33,9±1,02	255,0
GH^{AB}	3,3±0,71	33,1±1,68	248,3
GDF9			
$GDF9^{AA}$	3,4±0,54	33,1±1,32	247,5
$GDF9^{GG}$	3,1±0,91	31,4±1,12	235,8
$GDF9^{AG}$	3,3±0,45	32,5±1,59	243,3

Выявлено преимущество по величине живой массы у помесного поколения ярок (РММ×Ш и РММ×ИДФ) носителей желательных гомозиготных $CAST^{NN}$, GH^{BB} и $GDF9^{AA}$ генотипов, по сравнению со сверстниками носителями вариантов $CAST^{MM}$, GH^{AA} и $GDF9^{GG}$ генотипов, составило: при рождении на 5,14; 5,15; 4,96 и 4,49; 2,42; 2,11; в 4 месяца – 5,25; 5,28; 5,41 и 4,36; 3,40; 2,53 кг, соответственно.

Выявленная закономерность нашла подтверждение при сопоставлении и анализе величины среднесуточных приростов разных генотипов.

Установлено, что бóльшая величина живой массы отмечена у помесных ярочек, полученных от баранов пород шароле, иль-де-франс, носителей гомозиготных $CAST^{NN}$, GH^{BB} и $GDF9^{AA}$ генотипов и сопровождалась более высокими показателями среднесуточных приростов, составившими: 255,8; 255,0; 247,5 и 251,6; 250,0; 242,5 против $CAST^{MM}$, GH^{AA} и $GDF9^{GG}$ – 243,3; 242,5; 235,8 и 240,8; 244,1; 237,5 г соответственно.

У чистопородного ремонтного молодняка породы РММ носителей $CAST^{NN}$; GH^{BB} и $GDF9^{AG}$ генотипов преимущества выявлено по величине живой массы, составив при рождении – 3,2; 3,3 и 3,3 кг; в 4 месяца – 32,6; 32,4 и 32,7 кг соответственно. Выявленная закономерность нашла

подтверждение при сопоставлении и анализе величины среднесуточных приростов разных генотипов.

Таблица 8.

Динамика роста помесных ярок (РММ×ИДФ)

Маркерный ген/ генотип	Живая масса, кг		Среднесуточный прирост, г
	при рождении	после отъёма (4 месяца)	
CAST			
$CAST^{MM}$	3,2±0,34	32,1±1,43	240,8
$CAST^{NN}$	3,3±0,77	33,5±1,28	251,6
$CAST^{MN}$	3,3±0,37	32,9±1,08	247,5
GH			
GH^{AA}	3,0±0,45	32,3±1,34	244,1
GH^{BB}	3,4±0,87	33,4±1,23	250,0
GH^{AB}	3,3±0,34	33,1±1,27	248,3
GDF9			
$GDF9^{AA}$	3,3±0,21	32,4±1,27	242,5
$GDF9^{GG}$	3,1±0,92	31,6±1,10	237,5
$GDF9^{AG}$	3,2±0,34	32,2±1,43	241,6

Таблица 9.

Динамика роста чистопородных ярок породы РММ

Маркерный ген/ генотип	Живая масса, кг		Среднесуточный прирост, г
	при рождении	после отъёма (4 месяца)	
CAST			
$CAST^{MM}$	2,9±0,35	30,1±1,65	226,7
$CAST^{NN}$	3,2±0,70	32,6±1,22	245,0
$CAST^{MN}$	3,1±0,54	31,9±1,78	240,0
GH			
GH^{AA}	2,9±0,76	31,1±1,83	235,0
GH^{BB}	3,3±0,87	32,4±1,29	242,5
GH^{AB}	3,1±0,32	31,9±1,71	240,0
GDF9			
$GDF9^{AA}$	3,0±0,61	31,7±1,91	239,2
$GDF9^{GG}$	2,9±0,34	30,3±1,28	228,3
$GDF9^{AG}$	3,3±0,32	32,7±1,37	245,0

Данные показатели свидетельствует о высокой энергии роста опытного молодняка и его соответствии требованиям высоких классов при бонитировке.

Таким образом, нами сделано заключение, для повышения продуктивности животных при подборе родительских пар следует избегать особей, у которых отсутствуют желательные для селекции аллели и генотипы.

Выводы

Для увеличения мясной продуктивности овец предлагаем хозяйствам отдавать предпочтение животным-носителям с выявленным желательным генотипом по изучаемым полиморфизмам генов *GH, CAST, GDF9*, а также включение их в селекционный процесс, что создаст условия для накопления желательных аллелей генетических маркеров в стадах.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Амерханов Х.А., Егоров М.В., Селионова М.И., Суров А.И. Российский мясной меринос. Монография. Ставрополь, ВНИИОК. 2018. 130 с.
2. Амерханов, Х.А. Трухачёв В.И., Селионова М.И. Из истории российского овцеводства. Ставрополь: ИП Мокринский Н.С., 2017. 408 с.
3. Денискова Т.Е., Доцев А.В., Гладырь Е.А., и др. Валидация панели SNP-маркеров для контроля происхождения локальных российских пород овец // Сельхозбиология. 2015. № 6. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/validatsiya-paneli-snp-markerov-dlya-kontrolya-proishozhdeniya-lokalnyh-rossiyskih-porod-ovets
4. Денискова Т.Е., Доцев А.В., Петров С.Н. Поиск QTL и функциональных генов-кандидатов у овец как важный этап внедрения геномной селекции // Сборник докладов XIV международного биотехнологического форума «Росбиотех-2020», Москва, 17–19 ноября 2020 года. Москва: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, 2020. С. 174-175.
5. Карпова Е.Д., Суржикова Е.С., Гаджиев З.К. и др. Полиморфизм гена CAST и ассоциация его генотипов с показателями мясной продуктивности овец // Аграрный научный журнал. 2022. № 1. С. 60-63. https://doi.org/10.28983/asj.y2022i1pp60-63
6. Колосов Ю. А., Бакоев Н. Ф., Романец Т. С. и др. Влияние полиморфизма гена гормона роста (GH) на селекционно значимые показатели овец // Ма-

териалы XXVI Международной молодежной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов». Москва, 10–14 апреля 2017 г.

7. Колосов Ю. А., Кобыляцкий П.С., Широкова Н. В., и др. Биотехнологические методы изучения полиморфизма гена гормона роста // Научная жизнь. № 3. 2017. С. 84–91.
8. Мамонтова Т.В., Айбазов М.М. Генетические маркеры в селекции животных: опыт и перспективы // Сельскохозяйственный журнал. 2016. № 9. С. 480-484.
9. Марков, А. К. Основные направления повышения экономической эффективности интенсификации животноводства в современных условиях // International scientific review. 2020. LXX.
10. Морозов Н. М. Факторы и условия повышения эффективности производства продукции животноводства // Техника и технологии в животноводстве. 2017. № 2 (26). С. 70–79.
11. Оздемиров А.А., Чижова Л.Н., Хожоков А.А. и др. Полиморфизм генов CAST, GH, GDF9 овец дагестанской горной породы // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16. № 2(59). С. 39-44. https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-2-39-44
12. Селионова М.И., Айбазов А.М.М. Геномные технологии в селекции сельскохозяйственных животных // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. 2014. Т. 1. № 7. С. 140-145.
13. Суров А.И., Гаджиев З.К., Суржикова Е.С. и др. Особенности полиморфизма генов GH-HaeIII, CAST-MspI у овец разных пород // Аграрный научный журнал. 2022. № 7. С. 81-84. https://doi.org/10.28983/asj.y2022i7pp81-84
14. Ульянов А.Н., Куликова А.Я. Повышение мясной и шерстной продуктивности – неотложные проблемы овцеводства России // Овцы, козы, шерстяное дело. 2013. № 2. С. 19–24.
15. Ульянов А.Н., Куликова А.Я. Стратегические проблемы развития овцеводства России // Сельскохозяйственный журнал. 2013. № 6-1. С. 123-127.
16. Чижова Л.Н., Бобрышова Г.Т., Суржикова Е.С. и др. Система комплексной оценки селекционной перспективности племенных стад и их генетического благополучия на основе ДНК-диагностики: методические рекомендации. Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью фирма «Ставрополь-сервис-школа», 2020. 97 с.
17. Чижова Л.Н., Шумаенко С.Н., Барнаш Е.Н. и др. Генетическая сочетаемость родительских пар в овцеводстве и продуктивность потомства // Инновации и современные технологии в сельском хозяйстве: сборник

научных статей по материалам международной Интернет-конференции, Ставрополь, 04–05 февраля 2015 года. Том 2. Ставрополь: Издательство «АГРУС», 2015. С. 53-56.
18. Gorlov I.F. Shirokova N.V., Randelin A.V., et al. CAST / MspI gene polymorphism and its impact on growth traits of Soviet Merino and Salsk sheep breeds in the South European part of Russia // Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences. 2016. T. 40, № 4. P. 399–405.
19. Wang S.H., Zhang K., Dai Y.P. Advances in genetic engineering of domestic animals // Frontiers of Agricultural Science & Engineering. 2016. Vol. 3(1). P. 1-10.
20. Zhang H., Wang Z.P., Wang S.Z. Progress of genome wide association study in domestic animals // Journal of Animal Science and Biotechnology. 2012. Vol. 3(1). P. 26.

References

1. Amerkhanov Kh.A., Egorov M.V., Selionova M.I., Surov A.I. *Rossiyskiy myasnoy merinos* [Russian meat merino]. Monograph. Stavropol, VNIIOK, 2018, 130 p.
2. Amerkhanov, Kh.A. Trukhachev V.I., Selionova M.I. *Iz istorii rossiyskogo ovtsevodstva* [From the history of Russian sheep breeding]. Stavropol: IP Mokrinskiy N.S., 2017, 408 p.
3. Deniskova T.E., Dotsev A.V., Gladyr' E.A., et al. *Sel'khozbiologiya,* 2015, no. 6. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/validatsiya-paneli-snp-markerov-dlya-kontrolya-proishozhdeniya-lokalnyh-rossiyskih-porod-ovets
4. Deniskova T.E., Dotsev A.V., Petrov S.N. *Sbornik dokladov KhIV mezhdunarodnogo biotekhnologicheskogo foruma "Rosbiotekh-2020", Moskva, 17–19 noyabrya 2020 goda* [Collection of reports of the XIV International Biotechnology Forum "Rosbiotech-2020", Moscow, November 17–19, 2020]. Moscow: Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbatov, 2020, pp. 174-175.
5. Karpova E.D., Surzhikova E.S., Gadzhiev Z.K. et al. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*, 2022, no. 1, pp. 60-63. https://doi.org/10.28983/asj.y2022i1pp60-63
6. Kolosov Yu. A., Bakoev N. F., Romanets T. S. et al. *Materialy XXVI Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Lomonosov». Moskva, 10–14 aprelya 2017* [Materials of the XXVI International Youth Scientific Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists "Lomonosov". Moscow, April 10–14, 2017].

7. Kolosov Yu. A., Kobylyatskiy P.S., Shiro¬kova N. V., et al. *Nauchnaya zhizn',* 2017, no. 3, pp. 84–91.
8. Mamontova T.V., Aybazov M.M. *Sel'skokhozyaystvennyy zhurnal,* 2016, no. 9, pp. 480-484.
9. Markov, A. K. *International scientific review*. 2020. LXX.
10. Morozov N. M. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve,* 2017, no. 2 (26), pp. 70–79.
11. Ozdemirov A.A., Chizhova L.N., Khozhokov A.A. et al. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie,* 2021, vol. 16, no. 2(59), pp. 39-44. https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-2-39-44
12. Selionova M.I., Aybazov A.M.M. *Sbornik nauchnykh trudov Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva i kormoproizvodstva* [Collection of scientific works of the Stavropol Research Institute of Livestock and Feed Production], 2014, vol. 1, no. 7, pp. 140-145.
13. Surov A.I., Gadzhiev Z.K., Surzhikova E.S. et al. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal,* 2022, no. 7, pp. 81-84. https://doi.org/10.28983/asj.y2022i7pp81-84
14. Ul'yanov A.N., Kulikova A.Ya. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo,* 2013, no. 2, pp. 19–24.
15. Ul'yanov A.N., Kulikova A.Ya. *Sel'skokhozyaystvennyy zhurnal,* 2013, no. 6-1, pp. 123-127.
16. Chizhova L.N., Bobryshova G.T., Surzhikova E.S. et al. *Sistema kompleksnoy otsenki selektsionnoy perspektivnosti plemennykh stad i ikh geneticheskogo blagopoluchiya na osnove DNK-diagnostiki: metodicheskie rekomendatsii* [System for a comprehensive assessment of the breeding potential of breeding herds and their genetic well-being based on DNA diagnostics: methodological recommendations]. Stavropol: Limited Liability Company Stavropol-Service-School, 2020, 97 p.
17. Chizhova L.N., Shumaenko S.N., Barnash E.N. et al. *Innovatsii i sovremennye tekhnologii v sel'skom khozyaystve: sbornik nauchnykh statey po materialam mezhdunarodnoy Internet-konferentsii, Stavropol', 04–05 fevralya 2015 goda. Tom 2* [Innovations and modern technologies in agriculture: a collection of scientific articles based on materials from the international Internet conference, Stavropol, February 04–05, 2015. Volume 2]. Stavropol': Izdatel'stvo "AGRUS", 2015, pp. 53-56.
18. Gorlov I.F. Shirokova N.V., Randelin A.V., et al. CAST / MspI gene polymorphism and its impact on growth traits of Soviet Merino and Salsk sheep breeds in the South European part of Russia. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences,* 2016, vol. 40, no. 4, pp. 399–405.
19. Wang S.H., Zhang K., Dai Y.P. Advances in genetic engineering of domestic animals. *Frontiers of Agricultural Science & Engineering,* 2016, vol. 3(1), pp. 1-10.

20. Zhang H., Wang Z.P., Wang S.Z. Progress of genome wide association study in domestic animals. *Journal of Animal Science and Biotechnology,* 2012, vol. 3(1), p. 26.

ВКЛАД АВТОРОВ

Суров А.И.: общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Шумаенко С.Н.: интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Омаров А.А.: отбор биоматериала для исследований, обработка результатов, подготовка текста статьи.

Карпова Е.Д.: отбор биоматериала, лабораторные исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Евлагина Д.Д.: отбор биоматериала, лабораторные исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Чернобай Е.Н.: интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Дмитрик И.И.: интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Суржикова Е.С.: лабораторные исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Ефимова Н.И.: интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Бобрышов С.С.: отбор биоматериала для исследований, подготовка текста статьи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexander I. Surov: general direction of the research direction, interpretation of results, preparation of the text of the article.

Svetlana N. Chumachenko: interpretation of results, preparation of the text of the article.

Arslan A. Omarov: selection of biomaterial for research, processing of results, preparation of the text of the article.

Ekaterina D. Karpova: selection of biomaterial, aboratory research, interpretation of results, preparation of the text of the article.

Darya D. Evlagina: selection of biomaterial, aboratory research, interpretation of results, preparation of the text of the article.

Evgeny N. Chernobai: interpretation of results, preparation of the text of the article.

Irina I. Dmitrik: interpretation of results, preparation of the text of the article.

Evgeniya S. Surzhikova: aboratory research, interpretation of results, preparation of the text of the article.

Nina I. Efimova: interpretation of results, preparation of the text of the article.
Sergey S. Bobryshov: selection of biomaterial for research, preparation of the text of the article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Суров Александр Иванович, доктор сельскохозяйственных наук
Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»
пер. Зоотехнический, 15, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
surov.stv@yandex.ru

Шумаенко Светлана Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук
Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»
пер. Зоотехнический, 15, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
shumaenko71@yandex.ru

Омаров Арслан Ахметович, кандидат сельскохозяйственных наук
Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»
пер. Зоотехнический, 15, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
omarov1977@yandex.ru

Карпова Екатерина Дмитриевна, кандидат биологических наук
Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»
пер. Зоотехнический, 15, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
Lucziwa@yandex.ru

Евлагина Дарья Дмитриевна, кандидат биологических наук
Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»
пер. Зоотехнический, 15, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
d1319731@yandex.ru

Чернобай Евгений Николаевич, доктор биологических наук, профессор
ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет
пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
bay973@mail.ru

Дмитрик Ирина Ивановна, доктор сельскохозяйственных наук
Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»
пер. Зоотехнический, 15, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
vniiok@fnac.center

Суржикова Евгения Семёновна, кандидат сельскохозяйственных наук
Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»
пер. Зоотехнический, 15, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
immunogenetika@yandex.ru

Ефимова Нина Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук
Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»
пер. Зоотехнический, 15, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
vniiok@fnac.center

Бобрышов Сергей Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук
Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»
пер. Зоотехнический, 15, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
ssbob@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexander I. Surov, Doctor of Agricultural Sciences
All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center"

15, per. Zootechnichesky, Stavropol, 355017, Russian Federation
surov.stv@yandex.ru

Svetlana N. Chumachenko, Candidate of Agricultural Sciences
All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center"
15, per. Zootechnichesky, Stavropol, 355017, Russian Federation
shumaenko71@yandex.ru

Arslan A. Omarov, Candidate of Agricultural Sciences
All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center"
15, per. Zootechnichesky, Stavropol, 355017, Russian Federation
omarov1977@yandex.ru

Ekaterina D. Karpova, Candidate of Biological Sciences
All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center"
15, per. Zootechnichesky, Stavropol, 355017, Russian Federation
Lucziwa@yandex.ru

Darya D. Evlagina, Candidate of Biological Sciences
All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center"
15, per. Zootechnichesky, Stavropol, 355017, Russian Federation
d1319731@yandex.ru

Evgeny N. Chernobai, Doctor of Biological Sciences, Professor
Stavropol State Agrarian University
12, per. Zootechnichesky, Stavropol, 355017, Russian Federation
bay973@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1187-1499

Irina I. Dmitrik, Candidate of Agricultural Sciences
All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center"

15, per. Zootechnichesky, Stavropol, 355017, Russian Federation
vniiok@fnac.center

Evgeniya S. Surzhikova, Candidate of Agricultural Sciences
All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center"
15, per. Zootechnichesky, Stavropol, 355017, Russian Federation
immunogenetika@yandex.ru

Nina I. Efimova, Candidate of Agricultural Sciences
All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center"
15, per. Zootechnichesky, Stavropol, 355017, Russian Federation
vniiok@fnac.center

Sergey S. Bobryshov, Candidate of Agricultural Sciences
All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center"
15, per. Zootechnichesky, Stavropol, 355017, Russian Federation
ssbob@yandex.ru

Поступила 06.12.2022 Received 06.12.2022
После рецензирования 10.01.2023 Revised 10.01.2023
Принята 15.01.2023 Accepted 15.01.2023