

Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 4. С. 57-67.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2023. Vol. 106, no 4. P. 57-67.

Научная статья
УДК 591.151:636.32/.38
doi:10.33284/2658-3135-106-4-57

**Ассоциация однонуклеотидных полиморфизмов в генах *GH*, *CAST*
с убойными качествами у овец породы манычский меринос**

Лариса Николаевна Скорых¹, Ангелина Владимировна Суховеева², Антонина Владимировна Скокова³,
Сергей Сергеевич Бобрышов⁴

^{1,2,3,4}Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

¹smu.sniizhk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6090-4453>

²sukhovey1337@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3815-1088>

³antoninaskokova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2193-7498>

⁴ssbob@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4608-8207>

Аннотация. В последние десятилетия достижения в области современных технологий с использованием ДНК-маркеров позволили идентифицировать участки генома, лежащие в основе таких сложных признаков, как уровень мясной продуктивности. При этом традиционные программы разведения животных, основанные исключительно на информации о фенотипе и родословной, благодаря включению в них сведений о молекулярно-генетических маркерах позволят ускорить селекцию на улучшение их продуктивности. Поэтому в селекции овец, направленной на улучшение мясной продуктивности, особое внимание уделяют изучению полиморфизма маркерных генов, контролирующих процессы роста, развития мышечной ткани и энергетического обмена. Особую актуальность представляет изучение полиморфизма генов гормона роста (*GH*) и кальпастина (*CAST*), предположительно сопряжённых с признаками мясной продуктивности у овец. Целью настоящего исследования явилось изучение ассоциации однонуклеотидных полиморфизмов в генах *GH*, *CAST* с убойными качествами овец породы манычский меринос. В ходе исследования рассмотрены показатели мясной продуктивности анализируемого поголовья в зависимости от генотипов генов *GH* и *CAST*. Особи GH^{AB} и GH^{BB} генотипов превосходили животных генотипа GH^{AA} по таким показателям как: предубойная живая масса (на 10,2 и 7,3 %), масса парной туши (15,8 и 9,1 %), убойная масса (15,7 и 9,0 %). Результаты морфологического состава полутуш свидетельствуют, что у носителей GH^{AB} и GH^{BB} генотипов содержалось больше мышечной ткани на 18,8 и 10,8 %, чем у животных GH^{AA} генотипа. Кроме того, овцы с генотипами GH^{AB} и GH^{BB} характеризовались большим коэффициентом мясности на 11,1 и 6,8 %, чем аналоги GH^{AA} варианта. Рассматривая убойные качества овец с учётом полиморфности гена *CAST* выявлено, что особи, имеющие $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ генотипы отличались большей живой массой перед убоем на 7,5 и 5,1 %, массой парной туши – на 10,7 и 5,5 %, убойной массой – на 10,5 и 5,5 %, коэффициентом мясности – на 10,1 и 5,6 % в сравнении с особями $CAST^{MM}$ генотипа. Выявлены достоверные ассоциации между генотипами генов *GH* и *CAST* и характеристиками мясной продуктивности овец породы манычский меринос.

Ключевые слова: овцы, порода манычский меринос, полиморфизм, *GH*, *CAST*, мясная продуктивность

Для цитирования: Ассоциация однонуклеотидных полиморфизмов в генах *GH*, *CAST* с убойными качествами у овец породы манычский меринос / Л.Н. Скорых, А.В. Суховеева, А.В. Скокова, С.С. Бобрышов // Животноводство и кормопроизводство. Т. 106, № 4. С. 57-67. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-57>

Original article

Association of single nucleotide polymorphisms in *GH*, *CAST* genes with slaughter qualities in Manych Merino sheep

Larisa N Skorykh¹, Angelina V Sukhoveeva², Antonina V Skokova³, Sergei S Bobryshov⁴

^{1,2,3,4}North Caucasus Federal Agrarian Research Centre, Mikhailovsk, Russia

¹smu.sniizhk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6090-4453>

²sukhovey1337@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3815-1088>

³antoninaskokova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2193-7498>

⁴ssbob@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4608-8207>

Abstract. In recent decades, advances in modern technologies using DNA markers have made it possible to identify regions of the genome that underlie complex traits such as the level of meat productivity. At the same time, traditional animal breeding programs based solely on information about phenotype and breeding, thanks to the inclusion of information about molecular genetic markers, will speed up selection to improve their productivity. Therefore, special attention is paid to the study of polymorphism of marker genes that control the processes of growth, muscle tissue development and energy metabolism in sheep breeding aimed at improving meat productivity. The study of polymorphism of the growth hormone (*GH*) and calpastatin (*CAST*) genes, presumably associated with traits of meat productivity in sheep is of particular relevance. The purpose of this study was to study the association of single nucleotide polymorphisms in the *GH* and *CAST* genes with the slaughter qualities of Manych Merino sheep. The study examined the meat productivity indicators of the analyzed livestock depending on the genotypes of the *GH* and *CAST* genes. Animals with GH^{AB} and GH^{BB} genotypes were superior to animals of the GH^{AA} genotype in such indicators as: pre-slaughter live weight (10.2 and 7.3%), fresh carcass weight (15.8 and 9.1%), slaughter weight (15.7 and 9.0%). The results of the morphological composition of half-carcasses indicate that carriers of the GH^{AB} and GH^{BB} genotypes contained more muscle tissue by 18.8 and 10.8 % than animals of the GH^{AA} genotype. In addition, sheep with the GH^{AB} and GH^{BB} genotypes were characterized by a higher meat coefficient of 11.1 and 6.8% than the analogues of the GH^{AA} variant. Considering the slaughter qualities of sheep and taking into account the polymorphism of the *CAST* gene, it was revealed that animals with the $CAST^{MN}$ and $CAST^{NN}$ genotypes were distinguished by greater live weight before slaughter by 7.5 and 5.1%, fresh carcass weight by 10.7 and 5.5%, slaughter weight - by 10.5 and 5.5%, meat coefficient - by 10.1 and 5.6%, in comparison with individuals of the *CAST* MM genotype. Significant associations were revealed between the genotypes of the *GH* and *CAST* genes and the characteristics of meat productivity of Manych Merino sheep.

Keywords: sheep, Manych Merino breed, polymorphism, *GH*, *CAST*, meat productivity

For citation: Skorykh LN, Sukhoveeva AV, Skokova AV, Bobryshov SS. Association of single nucleotide polymorphisms in *GH*, *CAST* genes with slaughter qualities in Manych Merino sheep. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):57-67. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-57>

Введение.

Являясь важной частью животноводческой отрасли, овцеводство не только производит сырьё для шерстопрядильной промышленности, но и обеспечивает население мясом. На сегодняшний день производство баранины считается одним из перспективных направлений. Она широко распространена на внутреннем и международном рынках из-за своих характеристик постного мяса, менее жирного и легко перевариваемого (Zhang Y et al., 2015; Ostapchuk PS et al., 2018). Исследования показывают, что мясная продукция овец может иметь ряд биологических и пищевых преимуществ. Мясо, полученное от овец, обладает низким содержанием холестерина по сравнению с говядиной и свининой. Согласно данным, содержание холестерина в мясе составляет около 29 мг на 100 г продукта, что делает его более подходящим для диетического рациона. Кроме того, в мя-

се-баранине содержится больше такой аминокислоты как оксипролин, которая относится к числу важных компонентов для синтеза коллагена, в свою очередь являющегося основным белком в соединительной ткани для обеспечения здоровья костей, суставов и кожи (Омаров А.А. и др., 2016; Дмитрик И.И. и др., 2020).

Поэтому в России также возрос интерес к вопросам формирования высокой мясной продуктивности овец, особенно к её качественным характеристикам. Так как на сегодняшний день селекционный процесс у овец в основном направлен на повышение мясной продуктивности, то рациональное использование генетических ресурсов отечественных тонкорунных пород может оказаться весьма результативным. Одной из таких пород является манычский меринос, обладающий сочетанием хороших шерстных качеств с высокими мясными характеристиками. Кроме того, животные этой породы отличаются высоким качеством продукции и приспособленностью к разведению в засушливых условиях (Колосов Ю.А. и др., 2022). Однако общеизвестные методы селекции, которые применяются в отрасли овцеводства, не всегда предоставляют возможность в полной мере использовать генетический потенциал существующих пород (Горлов И.Ф. и др., 2021; Катков К.А. и др., 2018). Дальнейшее совершенствование продуктивных качеств овец породы манычский меринос может быть достигнуто путём внедрения новых современных подходов, позволяющих выявлять наиболее ценных для селекции животных с целью производства высококачественной мясной продукции. Это особенно важно в условиях, когда главный акцент в селекции овец делается на повышение мясной продуктивности.

В связи с вышесказанным возникает необходимость в поиске и внедрении в отрасль новых подходов, обладающих значительным потенциалом при сочетании с традиционными методами селекции (Селионова М.И. и др., 2017). Такими подходами к селекции овец может являться использование молекулярно-генетических методов. Сравнивая с традиционными методами селекции, основанными лишь на оценке фенотипа, изучение биологического материала овец позволяет выявлять определённые участки ДНК, отвечающие за мясную продуктивность и другие важные характеристики. Существенное внимание уделяют изучению полиморфизма маркерных генов, контролирующих процессы роста, развития мышечных тканей и энергетического обмена. Основная задача, которая стоит перед российскими учёными – изучение полиморфных вариаций генов кальпастина (*CAST*), гормона роста (*GH*) предположительно сопряжённых с характеристиками мясной продуктивности овец (Селионова М.И. и др., 2019; Суров А.И. и др., 2022). Исследования, проведённые на овцах породы советский меринос, показали, что наличие гетерозиготного генотипа СТ в гене *GH* у животных оказывает более высокую интенсивность роста по сравнению с молодняком, имеющим гомозиготные СС и ТТ генотипы (Сафонова Н.С. и др., 2019). Также проведена работа на овцах, разводимых в Ростовской области. В ходе исследования у особой сальской породы были выявлены достоверные ассоциации полиморфизма в гене *GH* (гормон роста) с признаками мясной продуктивности, что говорит о том, как различные варианты аллелей гена *GH* могут влиять на мясные характеристики (Колосов, Ю.А. и др., 2017).

Ген кальпастина входит в систему кальпаин-кальпастинового каскада, которая обеспечивает нежность мяса. Так, установлены достоверные ассоциации разных генотипов гена *CAST* с массой парной туши и убойным выходом в популяции овец ставропольской породы (Карпова Е.Д. и др., 2022).

Таким образом, указанные гены оказывают значительное влияние на качество баранины в процессе её производства и должны быть изучены на различных популяциях овец (Uzabaci E et al., 2022).

Цель исследования.

Изучение ассоциации однонуклеотидных полиморфизмов в генах *GH*, *CAST* с характеристиками мясной продуктивности овец породы манычский меринос.

Материалы и методы исследований.

Объект исследования. Баранчики породы маньчжурский меринос в возрасте 8 месяцев.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (Приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных») и «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals» (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Методом ПЦР-ПДРФ проводилось молекулярно-генетическое тестирование баранчиков, разводимых в СПК КПЗ им. Ленина Апанасенковского района Ставропольского края, на основании которого получены сведения об аллельных вариантах и генотипах. Отбор генетического материала проводили у молодняка овец в возрасте двух с половиной месяцев. Биоматериалом для генотипирования являлись образцы крови, собранные из яремной вены молодняка овец ($n=120$). В процессе осуществления полимеразной цепной реакции (ПЦР) предусматривалось использование набора «GenePakPCRCore». Посредством заданных программ амплификации на четырёхканальном термоциклере «Терцик» обеспечивался процесс копирования участков ДНК в объёме 20 мкл реакционной смеси с учётом приведённых праймеров: *CAST* (622 п.н.) – (F:5'TGGGGCCCAATGACGCCATCGATG - 3' и R:5'GGTGGAGCACTTCTGATC-ACC3'); *GH* (973 п.н.) – (F:5' GGAGGCAGGAAGGGATGAA 3' и R: 5' CCAAGGGAGGGAGAGACAGA3'). Рестрикционный анализ полученных ПЦР-продуктов проводили с использованием эндонуклеаз рестрикции *MspI*, *HaeIII* согласно протоколу производителя (ООО «СибЭнзим»). Детекцию образцов осуществляли при помощи электрофореза в 4,0 % агарозном геле в буфере 1X TBE, окрашенном бромистым этидием. Визуализация числа и длин фрагментов рестрикции производилась в трансиллюминаторе (Vilber Lourmat), излучающий ультрафиолетовый свет. В качестве эталона молекулярного веса использовался стандартный набор M 50 «GenePakDNAMarkers». Оценку мясной продуктивности проводили посредством контрольного убоя исследуемого поголовья в возрасте 8 месяцев. Убой трёх животных по каждому генотипу проводили после 24-часового периода голодания. В ходе исследования изучались следующие показатели: живая масса перед убоем, масса парной туши, масса внутреннего жира, убойная масса, убойный выход, сортовой и морфологический состав полутуш. Все исследуемые животные были одного года рождения и находились в идентичных условиях кормления и содержания.

Оборудование и технические средства. Лабораторные исследования проводились во ВНИИОК – филиале ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологий. Набор для выделения геномной ДНК GenePakPCRCore», («ИзогенЛаб», Россия); амплификатор «Терцик» («ДНК-Технология», Россия); центрифуга «BioSan» («BioSan», Россия); вортекс «Biosom» (ООО «ИнтерЛабСервис», Россия), микротермостат «Термит» («ДНК-технология», Россия); эндонуклеазы рестрикции *MspI*, *HaeIII* (ООО «СибЭнзим», Россия); трансиллюминатор (Vilber Lourmat, Германия); эталон молекулярного веса M 50 «GenePakDNAMarkers» («ИзогенЛаб», Россия).

Статистическая обработка. Генетико-статистический анализ результатов исследований осуществлялся с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением «Excel» («Microsoft», США). Статистическую значимость различий между средними значениями признаков между группами животных определяли по t-критерию Стьюдента. Результаты представлены в виде среднего (M) и стандартной ошибки среднего (m). Достоверными считали значения при $P \leq 0,05$; $P \leq 0,01$; $P \leq 0,001$.

Результаты исследований.

Результатом проведённого молекулярно-генетического испытания стало выявление полиморфных локусов в генах *GH* и *CAST* в популяции овец породы маньчжурский меринос, представлен-

ного аллелями А и В для гена *GH*, аллелями М и N – для гена *CAST*. При анализе полиморфных вариантов рассматриваемых генов среди исследуемых баранчиков была идентифицирована разница в частотах аллелей, которая отразилась следующими показателями: А – 0,76, В – 0,24 для гена *GH*, М – 0,8 и N – 0,2 для гена *CAST*. В результате полученных данных о частоте встречаемости аллелей определены следующие генотипы: АА, АВ и ВВ – *GH*; ММ, MN и NN – *CAST*. В анализируемой группе баранчиков наибольшую частоту встречаемости по гену *GH* имели АА-гомозиготы (61,6 %), гетерозиготные особи АВ встречались реже (29,2 %), тогда как крайне редко оказалось особей с гомозиготным ВВ вариантом (9,2 %). По гену *CAST* рассматривалась аналогичная ситуация с распределением частот генотипов, где с гетерозиготным MN вариантом оказалось 22,5 % баранчиков, преобладающим был гомозиготный генотип ММ с частотой 71,7 %, особей, с редко встречающимся генотипом – NN (5,8 %).

Рассматривая убойные качества исследуемого поголовья баранчиков с учётом сочетаний генотипов генов *GH* и *CAST*, выявлено, что группа особей с генотипами GH^{AB} , GH^{BB} и $CAST^{MN}$, $CAST^{NN}$ отличались лучшими мясными характеристиками по сравнению с животными GH^{AA} и $CAST^{MM}$ генотипов.

Так, по результатам контрольного убоя молодняка овец выявлено преимущество особей, несущих в гомозиготном и гетерозиготном состояниях аллель В в гене *GH*, в отличие от животных GH^{AA} генотипа по живой массе перед убоем (10,2 и 7,3 %, $P \leq 0,05$), убойной массе (15,7 и 9,0 %, $P \leq 0,01$), массе парной туши (15,8 и 9,1 %, $P \leq 0,05$). Следовательно, обнаруженная закономерность отразилась на большем убойном выходе, характерном для особей носителей генотипа GH^{AB} , составив разницу по сравнению с животными GH^{AA} и GH^{BB} генотипов в 2,09 и 1,4 абс. % (табл. 1).

Таблица 1. Убойные качества овец породы манычский меринос с разными генотипами по гену *GH*

Table 1. Slaughter qualities of Manych Merino sheep with different *GH* genotypes

Показатель / Indicator	Ген/генотип / Gene/genotype		
	GH^{AA} (n=74)	GH^{AB} (n=35)	GH^{BB} (n=11)
Количество животных, подвергнутых контрольному убоеу в научных целях, гол. / Number of animals subjected to control slaughter for scientific purposes, heads	3	3	3
Живая масса перед убоем, кг / Live weight before slaughter, kg	37,7±0,67	41,53±0,87*	40,46±0,77*
Масса парной туши, кг / Weight of fresh carcass, kg	15,66±0,57	18,14±0,69*	17,08±0,34
Масса внутреннего жира, кг / Internal fat weight, kg	0,336±0,08	0,363±0,04	0,346±0,05
Убойная масса, кг / Slaughter weight, kg	15,99±0,29	18,50±0,56**	17,43±0,37**
Убойный выход, % / Slaughter yield, %	42,41	44,50	43,10
Морфологический состав полутуши: / Morphological composition of the half carcass:			
Масса мякоти, кг / Pulp weight, kg	5,9±0,20	7,01±0,23*	6,54±0,26
Выход мякоти, % / Pulp yield, %	75,40	77,30	76,60
Масса костей, кг / Bone mass, kg	1,93±0,1	2,06±0,2	2,0±0,2
Выход костей, % / Bone yield, %	24,60	22,60	23,40
Коэффициент мясности / Meat factor	3,06±0,08	3,40±0,02**	3,27±0,03
Выход отрубов по сортам: / Yield of cuts by variety:			
I сорт, % / I grade, %	86,40	88,0	87,40
II сорт, % / II grade, %	13,60	12,0	12,60

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$

Note: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$

Анализ результатов проведённой обвалки туш у овец показывает, что особи с генотипами GH^{AB} и GH^{BB} имели лучшие результаты в отношении выхода отрубов I сорта на 1,6 и 1,0 абсолютных процента по сравнению с животными, являющимися носителями генотипа GH^{AA} . Полученные данные морфологического состава полутуш от животных изучаемых генотипов показали, что в тушах баранчиков GH^{AB} и GH^{BB} генотипов содержалось большее количество мышечной ткани, чем у особей GH^{AA} генотипа на 18,8 и 10,8 % ($P \leq 0,05$). Кроме того, особи, несущие аллель В в гене GH , характеризовались более высоким коэффициентом мясности на 11,1 и 6,8 % ($P \leq 0,01$) в сравнении с баранчиками, не имеющими этот аллель.

По результатам контрольного убоя исследуемой группы животных с учётом полиморфности гена $CAST$ также выявлены различия. Так, для животных с наличием в геноме аллеля N гена $CAST$ были характерны лучшие показатели мясной продуктивности: живая масса перед убоем (7,5 и 5,1 %, $P \leq 0,05$), убойная масса (10,5 и 5,5 %, $P \leq 0,05$), масса парной туши (10,7 и 5,5 %, $P \leq 0,05$), (табл. 2).

Таблица 2. Убойные качества овец породы манычский меринос с разными генотипами по гену $CAST$

Table 2. Slaughter qualities of Manych Merino sheep with different genotypes for the $CAST$ gene

Показатель / Indicator	Ген/генотип / Gene/genotype		
	$CAST^{MM}$ (n=86)	$CAST^{MN}$ (n=27)	$CAST^{NN}$ (n=7)
Количество животных, подвергнутых контрольному убоею в научных целях, гол. / Number of animals subjected to control slaughter for scientific purposes, heads	3	3	3
Живая масса перед убоем, кг / Live weight before slaughter, kg	37,2±0,52	40,0±0,63*	39,1±0,60
Масса парной туши, кг / Weight of fresh carcass, kg	15,54±0,34	17,20±0,54*	16,40±0,20*
Масса внутреннего жира, кг / Internal fat weight, kg	0,336±0,05	0,341±0,06	0,347±0,01
Убойная масса, кг / Slaughter weight, kg	15,88±0,46	17,54±0,26*	16,75±0,22
Убойный выход, % / Slaughter yield, %	42,60	43,80	42,80
Морфологический состав полутуши: / Morphological composition of the half carcass:			
Масса мякоти, кг / Pulp weight, kg	5,85±0,30	6,63±0,30	6,26±0,25
Выход мякоти, % / Pulp yield, %	75,28	77,10	76,30
Масса костей, кг / Bone weight, kg	1,92±0,24	1,97±0,1	1,94±0,15
Выход костей, % / Bone yield, %	24,72	22,90	23,70
Коэффициент мясности / Fleshing index	3,05±0,03	3,36±0,02***	3,22±0,04*
Выход отрубов по сортам: / Yield of cuts by variety:			
I сорт, % / I grade, %	86,80	87,30	87,10
II сорт, % / II grade, %	13,20	12,70	12,90

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$

Note: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$

Разделение туши баранчиков на отрубы в зависимости от генотипов гена $CAST$ позволило обнаружить, что от особей с генотипами $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ получено немного больше отрубов первого сорта по сравнению с баранчиками с генотипом $CAST^{MM}$. Разница составила 0,5 и 0,3 % в абсолютном значении. Анализ данных морфологического состава полутуш позволил определить, что в тушах особей, несущих в гомозиготном и гетерозиготном состоянии аллель N мутантного типа в гене $CAST$ содержалось больше мякоти, чем у сверстников генотипа $CAST^{MM}$ на 13,3 и 7,0 %. Кроме того, носители аллеля N гена $CAST$ отличались более высоким коэффициентом мясности на 10,1 и 5,6 % ($P \leq 0,001$, $P \leq 0,05$), чем особи, в геноме которых отсутствовал этот аллель.

Обсуждение полученных результатов.

В эксперименте, проводимом на ягнятах породы авасси, установлено, что наличие аллеля В в генотипе гена *GH* положительно влияет на живую массу при отъёме (El-Mansy SA et al., 2023).

Также выявлены ассоциации различных генотипов гена *CAST* с массой парной туши, нежностью мяса, диаметром мышечных волокон у овец породы араби. При этом особи с генотипом ТС имели более высокую массу парной туши по сравнению с генотипами ТТ (17,3±1,49 против 16,6±1,38 кг). Тогда как носители генотипа ТС характеризовались меньшим диаметром мышечных волокон в отличие от животных с ТТ генотипом (0,32±0,02 против 0,33±0,01) (Salim AH et al., 2022).

Погодаев В.А. с соавторами (2019), рассматривая генетическую структуру популяции помесных овец генотипа (1/2 калмыцкая курдючная×1/2 дорпер) по генам гормона роста (*GH*) и кальпастина (*CAST*), обнаружили их полиморфные варианты: аллели А и В для гена *GH*, также аллели М и N для гена *CAST* с частотой встречаемости 0,6 и 0,4; 0,65 и 0,35.

Исследования полиморфизма гена *CAST*, проведённые на мясо-шерстных овцах (1/2 полл дорсет×1/2 северокавказская мясо-шерстная), разводимых в условиях Ставропольского края, свидетельствуют о высокой (0,94) частоте встречаемости аллеля М и низкой (0,06) – аллеля N. Кроме того, обнаружены генотипы ММ и MN, а NN у овец рассматриваемой популяции отсутствовал (Фоминова И.О., 2021).

В Российской Федерации у 15 пород овец, разводимых в условиях Северо-Кавказского, Южного, Приволжского и Сибирского федеральных округов, при исследовании полиморфизма в гене кальпастина (*CAST*) в большинстве популяций частота аллеля М значительно превосходила частоту аллеля N и находилась в диапазоне от 0,33-0,99, тогда как частота аллеля N варьировала от 0,01 до 0,67 (Гаджиев З.К. и др., 2023).

Считаем, что полученные нами данные согласуются с результатами российских и зарубежных учёных по изучению генетического потенциала мясной продуктивности овец в разных природно-климатических зонах и возможности управления селекционным процессом на основе выявленных связей генов-маркеров с признаками продуктивности.

Заключение.

Результаты проведенного исследования позволили получить сведения о полиморфизме генов *GH*, *CAST* и их связи с убойными показателями овец породы маньчский меринос. Полиморфизм генов *GH*, *CAST* в исследуемой популяции овец представлен двумя аллелями с разной частотой встречаемости: А – 0,76, В – 0,24; М – 0,8 и N – 0,2. Выявленная закономерность выразилась в распределении частот гомозиготных и гетерозиготного генотипов в исследуемых генах. Установлены по три генотипа для гена *GH* (AA – 61,6; AB – 29,2 и BB – 9,2 %), гена *CAST* (MM – 71,7; MN – 22,5; NN – 5,8 %). Определены различия в распределении частоты встречаемости генотипов в изученных полиморфных вариантах генов. Установлено, что наибольшая частота встречаемости была характерна для гомозиготных вариантов GH^{AA} , $CAST^{MM}$. Выявлены достоверные ассоциации между генотипами генов *GH*, *CAST* и характеристиками мясной продуктивности овец. Установлено, что особи с генотипами GH^{AB} и GH^{BB} превосходили животных GH^{AA} генотипа по предубойной живой массе на 10,2 и 7,3 %, массе парной туши – на 15,8 и 9,1 %, убойной массе – на 15,7 и 9,0 %. Животные, несущие аллель В в гене *GH*, характеризовались большим содержанием мышечной ткани на 18,8 и 10,8 %, более высоким коэффициентом мясности на 11,1 и 6,8 % в сравнении с овцами, не имеющими этот аллель. Наличие в геноме овец аллеля N гена *CAST* ассоциировано с высокой живой массой перед убоем на 7,5 и 5,1 %, массой парной туши – на 10,7 и 5,5 %, убойной массой – на 10,5 и 5,5 %, коэффициентом мясности – 10,1 и 5,6 % в сравнении с особями, несущими аллель М в гомозиготном состоянии.

Из вышесказанного следует, что современные подходы к селекции овец с использованием молекулярно-генетических методов будут способствовать увеличению мясной продуктивности и улучшению её качественных характеристик. Выявление животных с желательными для селекции аллелями, маркирующими высокую мясную продуктивность, послужит причиной к созданию новых, более полезных популяций, стад.

Список источников

1. Биотехнологические методы изучения полиморфизма гена гормона роста / Ю.А. Колосов, Н.В. Кобыляцкий, П.С. Широкова, Л.В. Гетманцева, Н.Ф. Бакоев // Дальневосточный аграрный вестник. 2017. № 2(42). С. 82-86. [Kolosov YuA, Kobylazki PS, Shirokova NV, Getmanceva LV, Bakoev NF. Biotechnological methods of study of growth hormone gene polymorphism. Far Eastern Agrarian Herald. 2017;2(42):82-86. (In Russ.)].
2. Генетическая структура стада по генам GDF9, GH у овец волгоградской и эдильбаевской пород / И.Ф. Горлов, М.И. Сложенкина, Ю.А. Колосов, Н.В. Широкова // Аграрно-пищевые инновации. 2021. № 2(14). С. 51-59. [Gorlov IF, Slozhenkina MI, Kolosov YuA, Shirokova NV. The genetic structure of the herd according to the GDF9, GH genes in Volgograd and Edilbaevsky sheep breeds. Agrarian - and - Food Innovations. 2021;2(14):51-59. (In Russ.)]. doi: 10.31208/2618-7353-2021-14-51-59
3. Геномная селекция в овцеводстве / М.И. Селионова, Л.Н. Скорых, И.О. Фомина, Н.С. Сафонова // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. 2017. Т. 1. № 10. С. 275-280. [Selionova MI, Skorykh LN, Fominova IO, Safonova NS. Genomic selection in sheep breeding. Collection of scientific papers of the All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding. 2017;1(10):275-280. (In Russ.)].
4. Дмитрик И.И., Завгородняя Г.В., Бобрышова Г.Т. Качество мяса овец разных генотипов на гистологическом уровне // Сельскохозяйственный журнал. 2020. № 3(13). С. 46-51. [Dmitrik II, Zavgorodnyaya GV, Bobryshova GT. The quality of sheep meat of different genotypes on histological level. Agricultural Journal. 2020;3(13):46-51. (In Russ.)]. doi: 10.25930/2687-1254/007.3.13.2020
5. Исследование полиморфизма генов гормона роста, лептина у овец породы советский меринос / М.И. Селионова, Д.А. Ковалев, Л.Н. Скорых, Н.С. Сафонова, Н.И. Ефимова // Вестник АПК Ставрополя. 2019. № 3(35). С. 25-29. [Selionova MI, Kovalev DA, Skorykh LN, Safonova NS, Efimova NI. Research of growth hormone, leptin gene polymorphism in speep of soviet merino breed. Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2019;3(35):25-29. (In Russ.)]. doi: 10.31279/2222-9345-2019-8-35-25-29
6. Исследование полиморфизма генов соматотропина, кальпастина, дифференциального фактора роста у овец породы маньчский меринос / А.И. Суков, Л.Н. Скорых, А.В. Суховеева, Е.С. Суржикова // Зоотехния. 2022. № 4. С. 17-20. [Surov AI, Skorykh LN, Sukhoveeva AV, Surzhikova ES. Study of gene polymorphism of growth hormone, calpastatin, growth differential factor in the manych merino sheep breed. Zootechniya. 2022;4:17-20. (In Russ.)]. doi: 10.25708/ZT.2022.78.18.004
7. Омаров А.А., Скорых Л.Н., Коваленко Д.В. Мясная продуктивность, химический состав мышечной ткани молодняка создаваемого типа скороспелых овец в возрастном аспекте // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. 2016. Т. 2. № 9. С. 19-25. [Omarov AA, Skorykh LN, Kovalenko DV. Meat productivity, chemical compound of muscular tissue of early ripening sheep young of developed type in age aspect. Collection of scientific papers of the All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding. 2016;2(9):19-25. (In Russ.)].
8. Оценка племенной ценности баранов-производителей методом BLUP / К.А. Катков, С.С. Бобрышов, Л.Н. Скорых, В.Б. Копылов, М.А. Афанасьев // Главный зоотехник. 2018. № 5. С. 25-32. [Katkov KA, Bobryshov SS, Skorykh LN, Kopylov VB, Afanasiev MA. Evaluation of breeding value of stud rams by the method of BLUP. Glavnyj zootechnik. 2018;5:25-32. (In Russ.)].
9. Погодаев В.А., Кононова Л.В., Адучиев Б.К. Полиморфизм генов кальпастина и соматотропина у овец Калмыцкой курдючной породы и помесей (1/2 калмыцкая курдючная + 1/2 дорпер) // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3(47). С. 141-145. [Pogodaev VA, Kononova LV, Aduchiyeв BK. Polymorphism of calpastatin genes

and somatotropin of Kalmyk fat-tailed breed and crossbreeds (1/2 Kalmyk fat-tailed + 1/2 Dorper). Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2019;3(47):141-145. (*In Russ.*)]. doi: 10.18286/1816-4501-2019-3-141-145

10. Полиморфизм гена CAST и ассоциация его генотипов с показателями мясной продуктивности овец / Е.Д. Карпова, Е.С. Суржикова, З.К. Гаджиев, И.И. Дмитрик, Г.В. Завгородняя // Аграрный научный журнал. 2022. № 1. С. 60-63. [Karpova ED, Surzhikova ES, Gadzhiev ZK, Dmitrik II, Zavgorodnyaya GV. Polymorphism of the CAST gene and association of its genotypes with indicators of sheep meat productivity. Agrarian Scientific Journal. 2022;1:60-63. (*In Russ.*)]. doi: 10.28983/asj.y2022i1pp60-63

11. Полиморфизм гена соматотропина (GH) у овец породы советский меринос / Н.С. Сафонова, Д.А. Ковалев, Л.Н. Скорых, Н.И. Ефимова, А.М. Жиров // Главный зоотехник. 2019. № 6. С. 25-31. [Safonova NS, Kovalev DA, Skorykh LN, Efimova NI, Zhiron AM. Somatotropin gene polymorphism (GH) in sheep breed soviet merino. Glavnyj zootehnik. 2019;6:25-31. (*In Russ.*)].

12. Распределение частоты встречаемости аллелей гена кальпастатина у овец разных пород (обзор) / З.К. Гаджиев, Е.С. Суржикова, Т.Н. Михайленко, Д.Д. Евлагина, О.Н. Онищенко // Аграрный научный журнал. 2023. № 5. С. 72-78. [Gadzhiev ZK, Surzhikova ES, Mikhailenko TN, Evlagina DD, Onishchenko ON. Distribution of the frequency of occurrence of alleles by the calpastatin gene in sheep of different breeds (review). Agrarian Scientific Journal. 2023;(5):72-78. (*In Russ.*)]. doi: 10.28983/asj.y2023i5pp72-78

13. Фоминова И.О. Исследование полиморфизма гена кальпастатина у мясошерстных овец // Вестник Ошского государственного университета. 2021. № 1-2. С. 476-482. [Fominova IO. Research of calpastatin gene polymorphism in meat-wool sheep. Bulletin of Osh State University. 2021;1(2):476-482. (*In Russ.*)]. doi: 10.52754/16947452_2021_1_2_476

14. Шерстная продуктивность овец породы маньчжурский меринос при разных вариантах подбора / Ю.А. Колосов, В.В. Абонеев, А.Ч. Гаглюев, Р.И. Курус, И.В. Засемчук // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2022. № 4(71). С. 140-144. [Kolosov YuA, Aboneev VV, Gagloev ACh, Kurus RI, Zasemchuk IV. Wool productivity of sheep of the Manch Merino breed with different selection options. The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2022;4(71):140-144. (*In Russ.*)].

15. El-Mansy SA, Naiel MA, El-Naser, IAA, De Waard M, Babalghith AO, Ogaly HA, Ghazy AA. The growth hormone gene polymorphism and its relationship to performance and carcass features in Egyptian Awassi lambs. Heliyon. 2023;9(3):e14194. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14194

16. Ostapchuk PS, Yemelianov SA, Skorykh LN, Konik NV, Kolotova NA. Model of tsigai breed' meat quality improvement in pure breeding. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018;9(3):756-764.

17. Salim AH. The effect of the interaction between two mutations MSTN/T434C and CAST/T350C on carcass and meat traits in Arabi sheep in Iraq. International Journal of Applied Sciences and Technology. 2022;4(4):166-173. doi: 10.47832/2717-8234.13.15

18. Uzabaci E, Dincel D. Associations between c. 2832A> G polymorphism of CAST gene and meat tenderness in cattle: a meta-analysis. Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi. 2022;28(5):613-620. doi: 10.9775/kvfd.2022.27770

19. Zhang Y, Luo H, Liu K, Jia H, Chen Y, Wang Z. Antioxidant effects of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis*) extract during aging of longissimus thoracis muscle in Tan sheep. Meat Science. 2015;105:38-45. doi: 10.1016/j.meatsci.2015.03.002

References

1. Kolosov YuA, Kobylyazki PS, Shirokova NV, Getmanceva LV, Bakoev NF. Biotechnological methods of study of growth hormone gene polymorphism. Far Eastern Agrarian Herald. 2017;2(42):82-86.

2. Gorlov IF, Slozhenkina MI, Kolosov YuA, Shirokova NV. The genetic structure of the herd according to the GDF9, GH genes in Volgograd and Edilbaevsky sheep breeds. *Agrarian - and - Food Innovations*. 2021;2(14):51-59. doi: 10.31208/2618-7353-2021-14-51-59
3. Selionova MI, Skorykh LN, Fominova IO, Safonova NS. Genomic selection in sheep breeding. *Collection of Scientific Papers of the All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding*. 2017;1(10):275-280.
4. Dmitrik II, Zavgorodnyaya GV, Bobryshova GT. The quality of sheep meat of different genotypes on histological level. *Agricultural Journal*. 2020;3(13):46-51. doi: 10.25930/2687-1254/007.3.13.2020
5. Selionova MI, Kovalev DA, Skorykh LN, Safonova NS, Efimova NI. Research of growth hormone, leptin gene polymorphism in speep of soviet merino breed. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2019;3(35):25-29. doi: 10.31279/2222-9345-2019-8-35-25-29
6. Surov AI, Skorykh LN, Sukhoveeva AV, Surzhikova ES. Study of gene polymorphism of growth hormone, calpastatin, growth differential factor in the manych merino sheep breed. *Zootekhnika*. 2022;4:17-20. doi: 10.25708/ZT.2022.78.18.004
7. Omarov AA, Skorykh LN, Kovalenko DV. Meat productivity, chemical compound of muscular tissue of early ripening sheep young of developed type in age aspect. *Collection of Scientific Papers of the All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding*. 2016;2(9):19-25.
8. Katkov KA, Bobryshov SS, Skorykh LN, Kopylov VB, Afanasiev MA. Evaluation of breeding value of stud rams by the method of BLUP. *Head of Animal Breeding*. 2018;5:25-32.
9. Pogodaev VA, Kononova LV, Aduchiyeв BK. Polymorphism of calpastatin genes and somatotropin of Kalmyk fat-tailed breed and crossbreeds (1/2 Kalmyk fat-tailed + 1/2 Dorper). *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2019;3(47):141-145. doi: 10.18286/1816-4501-2019-3-141-145
10. Karpova ED, Surzhikova ES, Gadzhiev ZK, Dmitrik II, Zavgorodnyaya GV. Polymorphism of the CAST gene and association of its genotypes with indicators of sheep meat productivity. *Agrarian Scientific Journal*. 2022;1:60-63. doi: 10.28983/asj.y2022i1pp60-63
11. Safonova NS, Kovalev DA, Skorykh LN, Efimova NI, Zhirov AM. Somatotropin gene polymorphism (GH) in sheep breed soviet merino. *Head of Animal Breeding*. 2019;6:25-31.
12. Gadzhiev ZK, Surzhikova ES, Mikhailenko TN, Evlagina DD, Onishchenko ON. Distribution of the frequency of occurrence of alleles by the calpastatin gene in sheep of different breeds (review). *Agrarian Scientific Journal*. 2023;(5):72-78. doi: 10.28983/asj.y2023i5pp72-78
13. Fominova IO. Research of calpastatin gene polymorphism in meat-wool sheep. *Bulletin of Osh State University*. 2021;1(2):476-482. doi: 10.52754/16947452_2021_1_2_476
14. Kolosov YuA, Aboneev VV, Gagloev ACh, Kurus RI, Zasemchuk IV. Wool productivity of sheep of the Manych Merino breed with different selection options. *The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2022;4(71):140-144.
15. El-Mansy SA, Naiel, MA, El-Naser, IAA, De Waard M, Babalghith AO, Ogaly HA, Ghazy AA. The growth hormone gene polymorphism and its relationship to performance and carcass features in Egyptian Awassi lambs. *Heliyon*. 2023;9(3):e14194. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14194
16. Ostapchuk PS, Yemelianov SA, Skorykh LN, Konik NV, Kolotova NA. Model of tsigai breed' meat quality improvement in pure breeding. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018;9(3):756-764.
17. Salim AH. The effect of the interaction between two mutations MSTN/T434C and CAST/T350C on carcass and meat traits in Arabi sheep in Iraq. *International Journal of Applied Sciences and Technology*. 2022;4(4):166-173. doi: 10.47832/2717-8234.13.15
18. Uzabaci E, Dincel D. Associations between c. 2832A> G polymorphism of CAST gene and meat tenderness in cattle: a meta-analysis. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*. 2022;28(5):613-620. doi: 10.9775/kvfd.2022.27770

19. Zhang Y, Luo H, Liu K, Jia H, Chen Y, Wang Z. Antioxidant effects of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis*) extract during aging of longissimus thoracis muscle in Tan sheep. *Meat Science*. 2015;105:38-45. doi: 10.1016/j.meatsci.2015.03.002

Информация об авторах:

Лариса Николаевна Скорых, доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник отдела овцеводства и козоводства, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, 356241, Ставропольский край, Михайловск, ул. Никонова, 49, тел.: +7(8655)32-32-98.

Ангелина Владимировна Суховеева, младший научный сотрудник лаборатории геномной селекции и репродуктивной криобиологии в животноводстве, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, 356241, Ставропольский край, Михайловск, ул. Никонова, 49, тел.: +7(8655)32-32-98.

Антонина Владимировна Скокова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории геномной селекции и репродуктивной криобиологии в животноводстве, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, 356241, Россия, Ставропольский край, Михайловск, ул. Никонова, 49, тел.: +7(8655)32-32-98.

Сергей Сергеевич Бобрышов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела овцеводства и козоводства, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, 356241, Ставропольский край, Михайловск, ул. Никонова, 49, тел.: +7(8655)32-32-98.

Information about the authors:

Larisa N Skorykh, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher at the Department of Sheep Breeding and Goat Breeding, North Caucasus Federal Agrarian Research Centre, 49 Nikonov st., Mikhailovsk, Stavropol Territory, 356241, tel.: +7(8655)32-32-98.

Angelina V Sukhoveeva, Junior Researcher at the Laboratory of Genomic Breeding and Reproductive Cryobiology in Animal Husbandry, North Caucasus Federal Agrarian Research Centre, 49 Nikonov st., Mikhailovsk, Stavropol Territory, 356241, tel.: +7(8655)32-32-98.

Antonina V Skokova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher at the Laboratory of Genomic Breeding and Reproductive Cryobiology in Animal Husbandry, North Caucasus Federal Agrarian Research Centre, 49 Nikonov st., Mikhailovsk, Stavropol Territory, 356241, tel.: +7(8655)32-32-98.

Sergei S Bobryshov, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher at the Department of sheep breeding and goat breeding, North Caucasus Federal Agrarian Research Centre, 49 Nikonov st., Mikhailovsk, Stavropol Territory, 356241, tel.: +7(8655)32-32-98.

Статья поступила в редакцию 25.09.2023; одобрена после рецензирования 11.10.2023; принята к публикации 11.12.2023.

The article was submitted 25.09.2023; approved after reviewing 11.10.2023; accepted for publication 11.12.2023.