

ИССЛЕДОВАНИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ /
RESEARCH ACTIVITY OF YOUNG SCIENTISTS

Обзорная статья / Review article

УДК 636.3

DOI: 10.31208/2618-7353-2023-24-70-82

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ МЯСНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ
КАЛМЫЦКОЙ ПОРОДЫ ОВЕЦ

GENETIC MARKERS OF MEAT PRODUCTIVITY
OF THE KALMYK SHEEP BREED

^{1,2}Екатерина В. Карпенко, кандидат биологических наук

²Арина А. Савельева, студент

¹Игорь В. Церенов, кандидат сельскохозяйственных наук

^{1,2}*Ekaterina V. Karpenko, PhD (Biology)*

²*Arina A. Savelieva, Student*

¹*Igor V. Tserenov, PhD (Agriculture)*

¹Поволжский научно-исследовательский институт производства
и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия

²Волгоградский государственный университет, Волгоград

¹*Volga Region Research Institute of Manufacture
and Processing of Meat-and-Milk Production, Volgograd, Russia*

²*Volgograd State University, Volgograd, Russia*

Контактное лицо: Карпенко Екатерина Владимировна, ¹заведующая комплексной аналитической лабораторией, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции; 400066, Россия, Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6; ²доцент кафедры биологии и биоинженерии, Волгоградский государственный университет; 400062, Россия, Волгоград, пр. Университетский, д. 100; e-mail: lab.niimmp@yandex.ru; тел.: 8 (8442) 39-35-66; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3643-6431>.

Для цитирования: Карпенко Е.В., Савельева А.А., Церенов И.В. Генетические маркеры мясной продуктивности калмыцкой породы овец // Аграрно-пищевые инновации. 2023. Т. 24, № 4. С. 70-82. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2023-24-70-82>.

Principal Contact: Ekaterina V. Karpenko, ¹Head of the Complex Analytical Laboratory, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production; 6, Rokossovsky st., Volgograd, 400066, Russian Federation; ²Associate Professor, Department of Biology and Bioengineering, Volgograd State University; 100, Universitetsky prospect, Volgograd, 400062, Russian Federation; e-mail: lab.niimmp@yandex.ru; tel.: +7 (8442) 39-35-66; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3643-6431>.

For citation: Karpenko E.V., Savelieva A.A., Tserenov I.V. Genetic markers of meat productivity of the Kalmyk sheep breed. *Agrarno-pishchevye innovacii = Agrarian-and-food innovations*. 2023;24(4):70-82. (In Russ.). <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2023-24-70-82>.

Резюме

Цель. Выявление генов, контролирующих мясную продуктивность и качество воспроизводства овец на примере калмыцкой курдючной породы.

Материалы и методы. В процессе выполнения работы использованы следующие основные методы: анализ, классификация, конкретизация, синтез, обобщение, а также ресурсы поисковых систем PubMed и eLIBRARY.

Обсуждение. В работе рассматриваются вопросы обнаружения молекулярно-генетических маркеров, отвечающих за племенную ценность мелкого рогатого скота. Детально рассмотрены гены, отвечающие за мясную продуктивность и методы их анализа.

Заключение. В ходе литературного обзора были выявлены множества генов-кандидатов, которые коррелируют с мясной продуктивностью, но из этого множества выделены более изученные: BMPR-IB, MSTN, CAPN1, GDF9, CAST, GH.

Ключевые слова: генетические маркеры, калмыцкая порода овец, мясная продуктивность, гены мясной продуктивности, BMPR-IB, MSTN, CAPN1, GDF9, CAST, GH

Abstract

Purpose. Identification of genes that control meat productivity and quality of reproduction of sheep using the example of the Kalmyk fat-tailed breed.

Materials and Methods. The following main methods were used in the process of performing the work: analysis, classification, specification, synthesis, generalization, as well as the resources of the search engines PubMed and eLIBRARY.

Discussion. The work examines the issues of detecting molecular genetic markers responsible for the breeding value of small ruminants. The genes responsible for meat productivity and methods of their analysis are examined in detail.

Conclusion. During the literature review, many candidate genes were identified that correlate with meat productivity, but from this set the more studied ones were identified: BMPR-IV, MSTN, CAPN1, GDF9, CAST, GH.

Keywords: genetic markers, Kalmyk sheep breed, meat productivity, meat productivity genes, BMPR-IB, MSTN, CAPN1, GDF9, CAST, GH

Введение. В обеспечении населения бараниной, шерстью, молоком и курдючным жиром важную роль играет овцеводство. За последние годы оно набирает мощный темп производства из-за миграции населения из стран Средней Азии, СНГ, Юга России и Кавказа, где преимущественно вероисповеданием является мусульманство, которое подразумевает некоторые ограничения в еде. Другим производственным фактором роста выступает увеличение экспорта российской баранины со стороны стран Ближнего Востока, Персидского залива и Китая (Церенов И.В. и др., 2022). У овец практически 75% питательных веществ из корма идет на образование мускулов, костяка и жира (Мельникова Е.В., 2016), что выгодно для фермеров, которые занимаются их разведением. Хозяйственное значение, экономическая ситуация и будущее развитие овцеводства в России зависят от продуктивности и окупаемости овец, что дает основание многим исследователям и ученым искать способы улучшения уже имеющегося генофонда пород мясных овец. Их целью является развития генетических ресурсов овец, которые обладают высокими показателями мясной продуктивности (упитанность, относительная скорость роста, абсолютный и относительный приросты живой массы и т.д.) (Погодаев В.А. и др., 2019). Это осуществимо при помощи поиска генов кандидатов, которые связаны с полезными качествами. Калмыцкая курдючная порода – наиболее перспективная порода овец для развития её генетического потенциала.

Цель работы – провести поисковые исследования с целью выявления генов, контролирующей мясную продуктивность и качество воспроизводства овец на примере калмыцкой курдючной породы.

Материалы и методы. Литературный обзор научных исследований был произведен при помощи ресурсов поисковых систем PubMed и eLIBRARY по ключевым словам. Для обзора

были использованы статьи, содержащие доказательную экспериментальную и базу по вопросам мясной продуктивности калмыцких овец. В процессе выполнения работы использованы следующие основные методы: анализ, классификация, конкретизация, синтез, обобщение.

Обсуждение. На сегодняшний день овцеводство – главное звено животноводства в большинстве стран мира (Войтюк М.М. и Мачнева О.П., 2021). Овцеводство можно рассматривать не только в качестве способа удовлетворения потребностей в продуктах питания и шерсти, но и как сырье для фармакологических и медицинских технологий (Погодаев В.А. и др., 2019). Были проведены исследования по использованию овечьего молока, как основы в производстве йогуртов (Оспанов А.Б. и др., 2022). По своим биологическим характеристикам овцы представляют собой перспективное сельскохозяйственное животное, способное эффективно использовать естественные пастбища. Разведение овец обеспечивает выгоду не только в виде получения сырья, но и в экономическом аспекте (Погодаев В.А. и др., 2019).

Основные показатели мясной продуктивности: относительная скорость роста, абсолютный и относительный приросты живой массы, упитанность, линейные промеры и индексы телосложения (Погодаев В.А. и др., 2019). Высокий удельный вес маток в стаде позволяет быстро увеличить количество овец, производство баранины и шерсти (Зулаев М.С. и Яблуновский М.Ю., 2017). Критерием мясной продуктивности можно отметить убойный выход, который выражается в процентах и определяется отношением массы туши с внутренним жиром к предубойной массе (Погодаев В.А. и др., 2019). Эффективное производство баранины базируется на таких показателях, как физиологическая зрелость в возрасте 8-10-мес., получение мясной и овчинной продукции в возрасте 4-6 мес., высокие мясные и откормочные качества, плодовитость овцематки за 1 год, раннее отнятие ягнят от овцематок (в возрасте около 2 мес.) (Колосов Ю.А., 2017). Спаривание овец может быть проведено с применением метода искусственного осеменения маток в определенный период времени – октябре или ноябре. Основная цель этого метода заключается в том, чтобы позволить ягнятам рождаться в оптимальное время – конец марта или начало апреля. Перед проведением осеменения, бараны должны быть переведены на усиленное питание за 45 дней. Это позволяет гарантировать лучшую физическую форму баранов и повышает вероятность успешного спаривания (Зулаев М.С. и Яблуновский М.Ю., 2017).

В эпоху переселения хана Аюки с калмыками в Россию в XVII веке появились калмыцкие курдючные овцы, привезенные из регионов Монголии и Западного Китая. В процессе движения народа некоторая часть этих курдючных стад смешалась с местными породами овец, что привело к созданию уникальных гибридов курдючных овец (Зулаев М.С. и др., 2017).

Изначально поголовье калмыцких курдючных овец формировалось в совхозе имени 28 Армии в Яшкульском районе Республики Калмыкия. Часть этих овец была передана в ОАО ПЗ «Кировский» в том же районе. Для разведения калмыцких курдючных овец использовались две группы маток: первая группа была привезена из Астраханской области, а для второй группы использовались местные курдючные овцы разных видов (калмыцко-эдилбаевские). В качестве баранов-производителей использовали торгудскую породу, которую привезли из ОПХ «Кушар» Синьцзян-Уйгурского автономного района в 1988 году (Китай). В заключительной стадии создания породы калмыцких курдючных овец использовали баранов-производителей нового генотипа, которых получили в результате разведения «в себе». Применение сложного воспроизводительного скрещивания помогло ученым создать популяцию нового генотипа овец с высокими мясными характеристиками в совокупности с впечатляющим настригом шерсти. От такого скрещивания у помесей выводимого типа остались приспособительные особенности местных курдючных овец (Юлдашбаев Ю.А. и др.,

2013). Местные эдильбаевские курдючные бараны имели массу 83,7 кг, а матки – 59,1 кг (на 6,6 и 7,0% меньше, чем у новой породы овец). Настриг невыттой шерсти по баранам новой породы составил 3,1 кг (на 0,5 кг больше, чем у местных баранов). Воспроизводительные качества калмыцких курдючных маток несколько выше по сравнению с местными матками. На 100 калмыцких курдючных маток (начало ягнения) получено по 113,3%, на обьягвившихся маток – по 125,9% (на 8,7 и 4,5% больше по сравнению с местными матками) (Юлдашбаев Ю.А. и Салаев Б.К., 2017).

Характеристики калмыцких курдючных овец: высокий рост, высоконоготь и грубая шерсть; развитая грудная клетка, спина прямая и широкая; широкое туловище, прямой крестец, крепкие ноги с развитыми сухожилиями; массивная голова, длинные уши; шея средней величины. Шерсть рыжая, светло-рыжая и белая. Шерсть белой окраски наиболее востребована для промышленности (Зулаев М.С. и Яблуновский М.Ю., 2017), поэтому ведётся работа по выведению породы, которая характеризуется только белой окраской шерстного покрова и черной окраской головы (Куликова А.Я. и др., 2017). У маток рога отсутствуют, у баранов есть рога в зачаточном состоянии. Живая масса баранов 99-106 кг и более, овцематок – от 60 до 70 кг, ярок (в возрасте 18 месяцев) – более 55 кг. Живая масса баранчиков при продаже их на мясо в год рождения – 35-40 кг и более, ягнят при рождении – около 5 кг. Отличительная особенность поведения калмыцких овец – активная двигательная деятельность (Зулаев М.С. и Яблуновский М.Ю., 2017). Отношение количества влаги к жиру – важная оценка качества мяса, соотношение у калмыцких курдючных овец – 4,24-3,9% (Зулаев М.С. и др., 2012). Еще одна характерная черта – во время поедания растения используют в корм побег растения, оставляя корневую систему нетронутой (Зулаев М.С. и Яблуновский М.Ю., 2017). Самки калмыцкой курдючной породы немногплодные (двойни встречаются в 5-10%), зато отличаются хорошими материнскими инстинктами (Погодаев В.А. и др., 2019). Мясо овец содержит много калия, магния, натрия, фосфора, меди, цинка, железа, селена, кремния и марганца. Такой состав микро- и макроэлементов мяса говорит об улучшении иммунитета и продуктивности овец (Горлов И.Ф. и др., 2022). Также улучшение мясной продуктивности осуществляется контролем питания, а именно увеличения рационов с высоким уровнем концентрированных кормов, что сопровождается ростом живой массы на 11,6% (Бойко Н. и др., 2022). Кроме того, стоит учитывать, что при скрещивании межпородных особей тоже можно получить улучшение мясной продуктивности, например, скрещивание маток калмыцкой курдючной породы с баранами полл дорсет x северокавказская скороспелого типа свидетельствует, что помесные животные уступают чистопородным сверстникам по массе парной туши и убойной массе, но превосходят их по содержанию мякоти в туше и коэффициенту мясности (Омаров А.А. и др., 2017).

Формирование стад с желательным уровнем продуктивности на основе ДНК-маркеров – заслуга современной молекулярной генетики и это основная ее задача в селекции на данный момент (Чижова Л.Н. и др., 2016). ДНК-маркерами являются гены, генетическая природа которых хорошо и достоверно известна (Сорокина И.Н., 2013). ДНК-маркеры – полиморфные участки ДНК с неизвестными функциями, но с известной позицией в хромосоме, преимущество которых в том, что изменения в последовательности ДНК являются основой всех последующих изменений в организме (Мамонтова Т.В. и Айбазов М.М., 2016). Главная особенность данного вида исследования заключается в том, что исследование применено для оценки продуктивного потенциала сельскохозяйственных животных в самом раннем возрасте при их жизни (Чижова Л.Н. и др., 2016). Также определение взаимосвязи с некоторыми хозяйственно-полезными признаками осуществляют с помощью полиморфных систем трансферрина и полиморфных белков (Чортонбаев Т.Д. и Осмонова Б.М., 2015).

В овцеводстве применяются следующие маркеры. Классические генетические маркеры, при использовании которых фиксируется частота их распределения. Маркеры этой группы генотируются с использованием различных иммунологических методов, методов электрофоретического, изоэлектрофоретического разделения и др. (Сорокина И.Н., 2013). Маркеры делятся на три основных класса: морфологические маркеры (выявляемые на уровне фенотипа организма), молекулярные маркеры (выявляемые на уровне нуклеиновых кислот), цитогенетические и биохимические маркеры (различные белки, в том числе ферменты, и метаболиты) (Чесноков Ю.В., 2018). Изоферменты – генетически детерминированные молекулярные формы ферментов, которые можно обнаружить у особей одного вида, обладают одинаковой специфичностью, но различаются первичной структурой и физическими и химическими свойствами (Мухина Ж.М. и Дубина Е.В., 2011). «Идеальный» генетический маркер должен обладать следующими качествами: полиморфность, мультиаллельность, кодоминантность, неэпистатичность, «нейтральность» и нечувствительность к воздействию окружающей среды (Чесноков Ю.В., 2018).

Молекулярно-генетические маркеры основаны на:

- 1) методе полимеразной цепной реакции (ПЦР);
- 2) молекулярно-генетической блот-гибридизации – Саузерн-, Вестерн- и дот-гибридизации;
- 3) методах секвенирования нуклеиновых кислот и на основе ДНК-чип технологий (Чесноков Ю.В., 2018).

Поиск генов-кандидатов, полиморфизм которых играет важную роль в ценных признаках, в основном, выполняется двумя путями. Один из них – картирование главных генов количественных признаков (Quantitative Trait Loci – QTL). Поиск ассоциаций между полиморфизмом комплекса молекулярно-генетических маркеров с характерным ценным признаком (признаков) у животных позволяет рассчитывать, что внимание к комплексным генотипам позволит улучшить племенную ценность животных. Проявление ценных генов зависит от окружающей среды, что, в свою очередь, снижает надежность данного подхода и вероятность его эффективности. Вместо этого можно использовать другой подход к поиску генов, обладающих контрольными хозяйственно ценными признаками, – возможность выявления генов, чьи продукты могут критически влиять на проявление отдельных элементарных признаков, являться основой более сложных и ценных характеристик. Таким образом, сохранение и конструирование генотипов, которые с большей вероятностью будут проявлять желательные хозяйственно ценные признаки, успешно развивается в мясном скотоводстве (Глазко Т.Т. и др., 2008).

Сегодня исследование полиморфизма потенциальных генов-маркеров продуктивных характеристик овец является актуальным и своевременным. В настоящее время ученые особенно заинтересованы в генах или генных семействах, которые играют важную роль в улучшении скорости роста, таких как развитие мышц (миогенез) и обмен жировой ткани (Погодаев В.А. и др., 2018). Доказана высокая информативность одиночных нуклеотидных полиморфизмов (SNP) – генетических маркеров, ассоциированных с желательным сочетанием проявления хозяйственно ценных признаков (Чижова Л.Н. и др., 2016).

После долгого поиска генов, которые коррелируют с мясной продуктивностью у овец, найдены следующие гены: гормон роста (GH) (Погодаев В.А. и др., 2019), миостатин (MSTN) (Mirhoseini SZ and Zare J, 2012), гены кальпастин-кальпаинового каскада (CAPN1, CAST), ген морфогенетического белка кости (BMPR-1B), ростовой дифференцирующий фактор (GDF5) (Суховеева А.В., 2020), лептин (LEP), тиреоглобулин (TG5), белок, связывающий жирные кислоты (FABP4) (Трухачев В.И. и др., 2018). Следующие менее изученные гены (при помо-

щи полногеномных исследований с использованием ДНК-чипа средней плотности): GRM1, MBD5, UBR2, RPL7 и SMC2 в качестве потенциальных кандидатов интенсивности роста ягнят (Колосов Ю.А. и др., 2017). Также известны такие гены, как ген *ACACA*, влияющий на толщину мышц; ген *NCAPG*, влияющий на массу тела, прирост после отъема; ген *LCORL*, влияющий на массу тела, прирост после отъема (Zlobin AS et al., 2019). Также обнаружены гены *BMPR1B*, *FOXO4*, отвечающие за фертильность; *CEBPA*, *CEBPG*, *DLX3*, *DLX4*, *GBAS*, *NSMAF*, *PDE3A*, *PEPD*, *SDCBP*, *TNRC6A*, *UTRN*, отвечающие за качество мяса; *RMI1*, *GPR21*, *SCD5*, *CADM1*, отвечающие за размеры тела (Xu SS et al., 2021).

Хочется выделить отдельно полиморфизм гена *callipyge (CLPG)* у овец эдильбаевской, волгоградской и калмыцкой пород. Фенотипическая мутация в каллипиге-однонуклеотидном полиморфизме проявляется мышечной гипертрофией в области таза и задних конечностей. У ягнят каллипиги обнаружен более высокий процент мясного выхода, более крупная поясница и более нежирное мясо, конечности ценились выше. К сожалению, отрицательной чертой, даже дефектом каллипиговых ягнят является высокая жесткость мяса. В исследованиях был выявлен только генотип AA и аллели A и G. Таким образом, изменения в мышечной ткани происходят благодаря «быстрым» волокнам с гликолитическим типом метаболизма, в процентном соотношении имеют больший диаметр по сравнению с другими типами мышечных волокон. Ген *CLPG* способствует интенсивному развитию мышечной ткани и рекомендован в качестве ДНК-маркера, влияющего на высокие выходы мяса, но гипертрофия появилась у ягненка с 8-недельного возраста, но не проявилась у 2-недельного ягненка, поэтому необходимо дальше исследовать развитие каллипиговых овец (Gorlov IF et al., 2019).

Детальнее рассмотрим гены мясной продуктивности: *BMPR-1B*, *MSTN*, *CAPN1*, *GDF9*, *CAST* и *GH* (таблица 1).

Таблица 1. Гены мясной продуктивности

Table 1. Meat productivity genes

Ген <i>The gene</i>	Характеристика <i>Characteristic</i>	Особенности <i>Features</i>	Маркер <i>Marker</i>
Ген рецептора морфогенетического белка кости (<i>BMPR-1B</i>)	6 хромосома (Суховеева А.В., 2020)	Система контроля фолликулогенеза яичников и скорости овуляции у овец; участие в фосфорилировании эндоплазматических веществ и взаимодействие с генами морфогенетических белков кости (Суховеева А.В., 2020)	Маркер раннего отбора высокопродуктивных маток (Суховеева А.В., 2020)
Ген миостатина (<i>MSTN</i>)	2 хромосома (Osman NM et al., 2021)	Регуляции мышечной массы посредством регуляции мышечного роста, дифференцировки и регенерации (Osman NM et al., 2021); фактор роста и дифференцировки 8 (<i>GDF8</i>) (Трухачев В.И. и др., 2018)	Маркер для улучшения характеристик роста у овец (Osman NM et al., 2021)
Ген кальпастин (<i>CAPN1</i>)	5 хромосома (Трухачев В.И. и др., 2018)	Аминокислотные замены могут влиять на физико-химические свойства белка <i>CAST</i> , включая гидрофобность, амфифильность, суммарный заряд и активность Ca ²⁺ -каналов (Трухачев В.И. и др., 2018)	Маркер, отвечающий за нежность мяса (Трухачев В.И. и др., 2018)

Таблица 1. Продолжение

Table 1. Continuation

Ген <i>The gene</i>	Характеристика <i>Characteristic</i>	Особенности <i>Features</i>	Маркер <i>Marker</i>
Ген дифференциального фактора роста (<i>GDF9</i>)	5 хромосома, представлен двумя аллелями: А и G (Широкова Н.В. и др., 2015)	Является членом суперсемейства трансформирующего фактора роста β , белковый продукт которого способствует процессу развития фолликулов, ооцитов и пролиферации/апоптоза (Широкова Н.В. и др., 2015)	Маркер плодовитости (Широкова Н.В. и др., 2015)
Ген нежности мяса кальпастатин (<i>CAST</i>)	5 хромосома, представлен двумя аллелями: М и N (Погодаев В.А. и др., 2019)	Проведенные исследования у овец позволили выявить связь полиморфных вариантов гена <i>CAST</i> с нежностью мяса при созревании после проведения убоя. Одним из рассматриваемых вариантов полиморфности является олигонуклеотидная замена G/A в гене кальпастатина (<i>CAST</i>) (Фоминова И.О. и др., 2020). Анализ количества насыщенных и ненасыщенных кислот установил, что их концентрация зависит от генотипа. У овец с гомозиготным <i>CAST^{NV}</i> генотипом больше концентрация жирных кислот (например: пальмитиновая, стеариновая, линолевая, арахидоновая) (Чижова Л.Н. и др., 2020)	Маркер производительности по набору веса и качества мяса (Погодаев В.А. и др., 2019)
Гормон роста соматотропин (<i>GH</i>)	3 хромосома, представлен двумя аллелями: А и В (Погодаев В.А. и др., 2019)	Координация и регулирование скорости протекания обменных процессов усиливает биосинтез белка, ДНК, РНК и гликогена и способствует мобилизации жиров из депо и распаду высших жирных кислот и глюкозы в тканях, регуляция ростовых процессов, клеточной пролиферации и дифференцировки (Погодаев В.А. и др., 2019). Сравнительный анализ показателей иммунной реактивности показал, что у ягнят с генотипом <i>GH^{BB}</i> количество Т-; В-клеток независимо от возраста выше (Л.Н. Чижова и др., 2020)	Маркер ускоренного роста (Погодаев В.А. и др., 2019)

Заключение. В настоящее время обнаружены следующие гены овец, связанные с мясной продуктивностью: *GH*, *CAPN1*, *CAST*, *MSTN*, *GDF5*, *BMPR-1B*, *TG5*, *LEP*, *FABP4*, *GRM1*, *MBD5*, *UBR2*, *RPL7*, *SMC2*, *ACACA*, *NCAPG*, *BMPR1B*, *FOXO4*, *CEBPA*, *CEBPG*, *DLX3*, *DLX4*, *GBAS*, *NSMAF*, *PDE3A*, *PEPD*, *SDCBP*, *TNRC6A*, *UTRN*, *RMI1*, *GPR21*, *SCD5*, *CADM1*. Хорошо

изучены и найдены у калмыцкой курдючной породы из этого списка лишь некоторые гены, а именно: *BMPR-1B*, *MSTN*, *CAPN1*, *GDF9*, *CAST* и *GH*. У исследователей и ученых есть все возможности в обнаружении уже известных, но малоизученных генов либо открытие новых генов-кандидатов, связанных с мясной продуктивностью калмыцкой курдючной породы овец.

Благодарность: Работа выполнена по гранту РФФ 22-16-00041, ГНУ НИИММП.

Acknowledgment: The work was carried out under a grant of the Russian Science Foundation No. 22-16-00041, VRIMMP.

Список источников

1. Биотехнологические методы изучения полиморфизма гена гормона роста / Ю.А. Колосов, П.С. Кобыляцкий, Н.В. Широкова, Л.В. Гетманцева, Н.Ф. Бакоев // Дальневосточный аграрный вестник. 2017. № 2 (42). С. 82-86.
2. Войтюк М.М., Мачнева О.П. Современное состояние овцеводства в России // Эффективное животноводство. 2021. № 4 (170). С. 102-105. <https://doi.org/10.24412/cl-33489-2021-4-102-105>.
3. Генетические маркеры мясной продуктивности овец (*Ovis aries* L.). Сообщение I. миостатин, кальпаин, кальпастатин / В.И. Трухачев, М.И. Селионова, А.Ю. Криворучко, А.М.М. Айбазов // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53, № 6. С. 1107-1119. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.6.1107rus>.
4. Глазко Т.Т., Комаров А.Б., Борзаковская Е.В. ДНК-технологии для повышения мясной продуктивности // Известия ТСХА. 2008. № 1. С. 75-80.
5. Зулаев М.С., Надбитов Н.К., Яблуновский М.Ю. Современное состояние овцеводства Калмыкии и пути его дальнейшего развития // Сельскохозяйственный журнал. 2017. Т. 1, № 10. С. 144-150.
6. Зулаев М.С., Яблуновский М.Ю. Овцеводство Калмыкии и его совершенствование // Сборник научных трудов Северо-Кавказского научно-исследовательского института животноводства. 2017. Т. 6, № 1. С. 8-12.
7. Колосов Ю.А. Мясное овцеводство как элемент стратегии отрасли // Сборник научных трудов СКНИИЖ. 2017. Т. 6, № 1. С. 47-51.
8. Куликова А.Я., Юлдашбаев Ю.А., Салаев Б.К. Шерстная продуктивность и физико-механические свойства неоднородной шерсти калмыцких курдючных овец // Сборник научных трудов СКНИИЖ. 2017. Т. 6, № 3. С. 47-54.
9. Мамонтова Т.В., Айбазов М.М. Генетические маркеры в селекции животных: опыт и перспективы // Сельскохозяйственный журнал. 2016. Т. 1, № 9. С. 480-485.
10. Мельникова Е.В. Овцеводство и козоводство: тенденции к развитию // Символ науки. 2016. Т. 4, № 4. С. 61-64.
11. Мухина Ж.М., Дубина Е.В. Молекулярные маркеры и их использование в селекционно-генетических исследованиях // Научный журнал КубГАУ. 2011. № 66. С. 386-496.
12. Мясная продуктивность и качество мяса калмыцких курдючных овец / М.С. Зулаев, Н.К. Надбитов, М.Ю. Яблуновский, Т.Х. Надбитова // Вестник Института комплексных исследований аридных территорий. 2012. № 1 (24). С. 45-49.
13. Новая порода овец – калмыцкая курдючная / Ю.А. Юлдашбаев, А.Н. Арилов, М.С. Зулаев, Б.Е. Гаряев // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2013. № 3. С. 109-112.

14. Оптимизация техники проведения ПЦР-ПДРФ для генотипирования овец / Н.В. Широкова, Ю.А. Колосов, Л.В. Гетманцева, А.В. Радюк, Н.Ф. Бакоев // Научный журнал КубГАУ. 2015. № 113. С. 1473-1481.
15. Особенности минерального состава мяса калмыцких курдючных овец выводимого типа / И.Ф. Горлов, М.И. Сложенкина, С.А. Князева, И.В. Церенов, Е.В. Карпенко, Е.С. Воронцова, Н.И. Мосолова // Известия НВ АУК. 2022. Т. 2, № 66. С. 185-190. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-02-23>.
16. Оценка возможности использования козьего и овечьего молока в производстве йогуртов / А.Б. Оспанов, Е.М. Щетинина, Ш.М. Велямов, Р.К. Макеева // Ползуновский вестник. 2022. Т. 1, № 4. С. 154-159. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.020>.
17. Перспективы индустриализации овцеводства России / И.В. Церенов, Ю.А. Юлдашбаев, А.М. Абдулмуслимов, А.К. Натыров // Индустриальная экономика. 2022. Т. 2, № 4. С. 190-196. https://doi.org/10.47576/2712-7559_2022_4_2_190.
18. 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 ГСХА. 2019. Т. 3, № 47. С. 141-145. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2019-3-141-145>.
19. Полиморфизм гена CAST, особенности жирнокислотного состава липидов крови овец разных генотипов в онтогенезе / Л.Н. Чижова, Е.С. Суржикова, Е.Д. Луцива, Н.И. Ефимова // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 6. С. 47-51. <https://doi.org/10.18551/issn1997-0749.2020-06>.
20. Полиморфизм гена GN, особенности жирнокислотного состава крови овец разных генотипов в онтогенезе / Л.Н. Чижова, Е.С. Суржикова, А.К. Михайленко, Е.Д. Луцива, Н.И. Ефимова // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 5. С. 111-116. <https://doi.org/10.18551/issn1997-0749.2020-05>.
21. Продуктивные признаки и пищевое поведение баранов при различных условиях кормления / Н. Бойко, И. Корх, И. Помитун, Н. Косова, Е.И. Чигринов // Разведение животных и генетика. 2022. № 63. С. 20-28.
22. Результаты скрещивания овец калмыцкой курдючной породы с баранами создаваемого скороспелого типа / А.А. Омаров, Л.Н. Скорых, Д.В. Коваленко, Р.Г. Гусейнова // Сельскохозяйственный журнал. 2017. Т. 1, № 10. С. 236-241.
23. Сорокина И.Н. Теоретические модели структуры популяций и генетические маркеры, используемые в популяционно-генетических исследованиях // Актуальные проблемы медицины. 2013. Т. 11, № 154. С. 166-169.
24. Суховеева А.В. Генетические маркеры в селекции овец // Сельскохозяйственный журнал. 2020. № 5 (13). С. 79-83. <https://doi.org/10.25930/2687-1254/013.5.13.2020>.
25. Фоминова И.О., Скорых Л.Н., Коваленко Д.В. Биотехнологические методы исследования полиморфизма генов самотропина и кальпастина // Сельскохозяйственный журнал. 2020. № 5 (13). С. 83-88. <https://doi.org/10.25930/2687-1254/014.5.13.2020>.
26. Хозяйственно-полезные качества и биологические особенности овец, полученных от скрещивания пород калмыцкая курдючная и дорпер в условиях аридной зоны Калмыкии / В.А. Погодаев, Н.В. Сергеева, Ю.А. Юлдашбаев, А.И. Ерохин, Е.А. Карасев, Т.А. Магомадов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2019. Вып. 4. С. 58-76. <https://doi.org/10.34677/0021-342-2019-4-58-76>.
27. Чесноков Ю.В. Генетические маркеры: сравнительная классификация молекулярных маркеров // Овощи России. 2018. № 3 (41). С. 11-15.

28. Чижова Л.Н., Шарко Г.Н., Михайленко А.К. Генетические маркеры в мясном скотоводстве // Сельскохозяйственный журнал. 2016. Т. 2, № 9. С. 258-264.
29. Чортонбаев Т.Д., Осмонова Б.М. Трансферриновые маркеры у овец и их использование в селекции // Животноводство и кормопроизводство. 2015. Т. 92, № 4. С. 24-29.
30. Юлдашбаев Ю.А., Салаев Б.К. Сравнительная характеристика продуктивных особенностей курдючных овец Калмыкии // Сельскохозяйственный журнал. 2017. Т. 1, № 10. С. 333-339.
31. Genetic variations in the *Myostatin* gene affecting growth traits in sheep / NM Osman, HI Shafey, MA Abdelhafez, AM Sallam, KF Mahrous // Vet World. 2021. Vol. 14, № 2. P. 475-482. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.475-482>.
32. Mirhoseini SZ, Zare J. The role of myostatin on growth and Carcass traits and its application in animal breeding // Life Science Journal. 2012. Vol. 3, № 9. P. 2353-2357.
33. Polymorphism of *CLPG* gene in three sheep breeds grown in the steppe zone of the Russian Federation / IF Gorlov, NV Shirokova, YA Kolosov, AY Kolosov, LV Getmantseva, MI Slozhenkina, NI Mosolova, EY Anisimova, VV. Ponomariov // J Adv Vet Anim Res. 2019. Vol. 7, № 1. P. 51-55. <https://doi.org/10.5455/javar.2020.g392>.
34. Recent advances in understanding genetic variants associated with growth, carcass and meat productivity traits in sheep (*Ovis aries*): an update / AS Zlobin, NA Volkova, PM Borodin, TI Aksenovich, YA Tsepilov // Arch Anim Breed. 2019. Vol. 62, № 2. P. 579-583. <https://doi.org/10.5194/aab-62-579-2019>.
35. Whole-Genome Selective Scans Detect Genes Associated With Important Phenotypic Traits in Sheep (*Ovis aries*) / Xu SS, Gao L, Shen M, Lyu F // Front Genet. 2021. Vol. 12. Article number: 738879. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.738879>.

References

1. Kolosov YuA, Kobylazki PS, Shirokova NV, Getmanceva LV, Bakoyev NF. Biotechnological methods of study of growth hormone gene polymorphism. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik = Far East Agrarian Bulletin*. 2017;42(2):82-86. (In Russ.).
2. Voytyuk MM, Machneva OP. The current state of sheep breeding in Russia. *Effektivnoe zhitovnovodstvo = Efficient livestock farming*. 2021;170(4):102-105. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/cl-33489-2021-4-102-105>.
3. Trukhachev VI, Selionova MI, Krivoruchko AYU, Aibasov AMM. Genetic markers of meat productivity of sheep (*ovis aries* L.). I. myostatin, calpain, calpastatin. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya = Agricultural biology*. 2018;53(6):1107-1119. (In Russ.). <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.6.1107rus>.
4. Glazko TT, Komarov AB, Borzakovskaya EV. DNA technologies to improve meat productivity. *Izvestiya Timiryazevskoj sel'skohozyajstvennoj akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2008;(1):75-80. (In Russ.).
5. Zulaev MS, Nadbitov NK, Yablunovsky MYu. The current state of sheep breeding in Kalmykia and ways of its further development. *Sel'skohozyajstvennyj zhurnal = Agricultural journal*. 2017;10(1):C. 144-150. (In Russ.).
6. Zulaev MS, Yablunovsky MYu. Sheep breeding in Kalmykia and its improvement. *Sbornik nauchnyh trudov Severo-Kavkazskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhitovnovodstva = Collection of scientific papers of the North Caucasus Research Institute of Animal Husbandry*. 2017;6(1):8-12. (In Russ.).

7. Kolosov JA. Mutton sheep breeding as an industry strategy. *Sbornik nauchnyh trudov Severo-Kavkazskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva = Collection of scientific papers of the North Caucasus Research Institute of Animal Husbandry*. 2017;6(1):47-51. (In Russ.).
8. Kulikova AYa, Yuldashbaev YuA, Salaev BK. Wool productivity and physical-and-mechanical properties of heterogeneous wool of Kalmyk fat-rumped sheep. *Sbornik nauchnyh trudov Severo-Kavkazskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva = Collection of scientific papers of the North Caucasus Research Institute of Animal Husbandry*. 2017;6(3):47-54. (In Russ.).
9. Mamontova TV, Aybazov MM. Genetic markers in animal breeding: experience and prospects. *Sel'skohozyajstvennyj zhurnal = Agricultural journal*. 2016;9(1):480-485. (In Russ.).
10. Melnikova EV. Sheep and goat farming: development trends. *Simvol nauki = Symbol of science*. 2016;4(4):C. 61-64. (In Russ.).
11. Mukhina ZhM, Dubina EV. Molecular markers and how to use them in breeding and genetic researchers. *Nauchnyj zhurnal KubGAU = Scientific Journal of KubSAU*. 2011;(66):386-496. (In Russ.).
12. Zulaev MS, Nadbitov NK, Yablunovsky MYu, Nadbitova T.Kh. Meat productivity and quality of meat of Kalmyk fat-tailed sheep. *Vestnik Instituta kompleksnyh issledovanij aridnyh territorij = Bulletin of the Institute for Comprehensive Research of Arid Territories*. 2012;24(1):C. 45-49. (In Russ.).
13. Yuldashbaev YuA, Arilov AN, Zulaev MS, Garyaev BYe. A new sheep breed – Kalmyk fat-tailed. *Izvestiya Timiryazevskoj sel'skohozyajstvennoj akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2013;(3):109-112. (In Russ.).
14. Shirokova NV, Kolosov YuA, Getmantseva LV, Raduk AV, Bakoev NF. Optimization techniques for PCR-RFLP for genotyping sheep. *Nauchnyj zhurnal KubGAU = Scientific Journal of KubSAU*. 2015;(113):1473-1481. (In Russ.).
15. Gorlov IF, Slozhenkina MI, Knyazeva SA, Cerenov IV, Karpenko EV, Vorontsova ES, Mosolova NI. The features of the mineral composition of the meat of the Kalmyk breeds of sheep of «Kurdyuk» type. *Izvestiya NV AUK = Proc. of the Lower Volga AgroUniversity Comp*. 2022;66(2):185-190. (In Russ.). <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-02-23>.
16. Ospanov AB, Shchetinina EM, Velyamov ShM, Makeeva RK. Evaluation of the possibility of using goat and sheep milk in yoghurt production. *Polzunovskij vestnik = Polzunovskiy vestnik*. 2022;4(1):154-159. (In Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.020>.
17. Tserenov IV, Yuldashbaev YuA, Abdulmuslimov AM, Nattyrov AK. Prospects for the industrialization of sheep breeding in Russia. *Industrial'naya ekonomika = Industrial economy*. 2022;4(2):190-196. (In Russ.). https://doi.org/10.47576/2712-7559_2022_4_2_190.
18. Pogodayev VA, Kononova LV, Aduchiyev BK. Polymorphism of calpastatine genes and somatotropin of Kalmyk fat-tailed breed and crossbreed (½ Kalmyk fat-breed + ½ Dorper). *Vestnik Ul'yanovskoj GSKHA = Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2019;47(3):141-145. (In Russ.). <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2019-3-141-145>.
19. Chizhova LN, Surzhikova ES, Lutsiva ED, Efimova NI. CAST gene polymorphism, features of fatty acid composition of blood lipids of sheep different genotypes in ontogenesis. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii = Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2020;(6):47-51. <https://doi.org/10.18551/issn1997-0749.2020-06>.

20. Chizhova LN, Surzhikova ES, Mikhailenko AK, Lutsiva ED, Efimova NI. GH gene polymorphism, features of the fatty acid composition in the sheep blood of different genotypes in ontogenesis. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii = Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2020;(5):111-116. (In Russ.). <https://doi.org/10.18551/issn1997-0749.2020-05>.
21. Boyko N, Korkh I, Pomitun I, Kosova N, Chigrinov EI. Productive traits and feeding behavior of rams under different feeding conditions. *Genetika i razvedenie zhivotnyh = Genetics and breeding of animals*. 2022;(63):20-28. (In Russ.).
22. Omarov AA, Skorykh LN, Kovalenko DV, Huseynova RG. Results of crossing Kalmyk fat-tailed sheep with rams of the created early ripening type. *Sel'skohozyajstvennyj zhurnal = Agricultural journal*. 2017;10(1):236-241. (In Russ.).
23. Sorokina IN. Theoretical models of population structure and genetic markers used in population genetic studies. *Aktual'nye problemy mediciny = Challenges in modern medicine*. 2013;154(11):166-169. (In Russ.).
24. Sukhoveeva AV. Genetic markers in sheep breeding. *Sel'skohozyajstvennyj zhurnal = Agricultural journal*. 2020;13(5):79-83. (In Russ.). <https://doi.org/10.25930/2687-1254/013.5.13.2020>.
25. Fominova IO, Skorykh LN, Kovalenko DV. Biotechnological methods of studying gene polymorphism of somatotropin and calpastatin. *Sel'skohozyajstvennyj zhurnal = Agricultural journal*. 2020;13(5):83-88. (In Russ.). <https://doi.org/10.25930/2687-1254/014.5.13.2020>.
26. Pogodayev VA, Sergeyeva NV, Yuldashbaev YuA, Erokhin AI, Karasev YeA, Magomadov TA. Economically valuable qualities and biological peculiarities of sheep obtained from crossing the Kalmykian and the Dorper breeds under the conditions of the arid zone of Kalmykia. *Izvestiya Timiryazevskoj sel'skohozyajstvennoj akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2019;(4):58-76. (In Russ.). <https://doi.org/10.34677/0021-342-2019-4-58-76>.
27. Chesnokov YuV. Genetic markers: comparative classification of molecular markers. *Ovoshchi Rossii = Vegetable crops of Russia*. 2018;41(3):11-15. (In Russ.).
28. Chizhova LN, Sharko GN, Mikhailenko AK. Genetic markers in beef cattle breeding. *Sel'skohozyajstvennyj zhurnal = Agricultural journal*. 2016;9(2):258-264. (In Russ.).
29. Chortonbaev TD, Osmonova BM. Transferrin markers of sheep and their use in selection. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo = Animal Husbandry and Fodder Production*. 2015;92(4):24-29. (In Russ.).
30. Yuldashbaev YuA, Salaev BK. Comparative characteristics of the productive characteristics of fat-tailed sheep of Kalmykia. *Sel'skohozyajstvennyj zhurnal = Agricultural journal*. 2017;10(1):333-339. (In Russ.).
31. Genetic variations in the Myostatin gene affecting growth traits in sheep / NM Osman, HI Shafey, MA Abdelhafez, AM Sallam, KF Mahrous. *Vet World*. 2021;14(2):475-482. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.475-482>.
32. Mirhoseini SZ, Zare J. The role of myostatin on growth and Carcass traits and its application in animal breeding. *Life Science Journal*. 2012;9(3):2353-2357.
33. Polymorphism of CLPG gene in three sheep breeds grown in the steppe zone of the Russian Federation / IF Gorlov, NV Shirokova, YA Kolosov, AY Kolosov, LV Getmantseva, MI Slozhenkina, NI Mosolova, EY Anisimova, VV. Ponomariov. *J Adv Vet Anim Res*. 2019;7(1):51-55. <https://doi.org/10.5455/javar.2020.g392>.

34. Recent advances in understanding genetic variants associated with growth, carcass and meat productivity traits in sheep (*Ovis aries*): an update / AS Zlobin, NA Volkova, PM Borodin, TI Aksenovich, YA Tsepilov. *Arch Anim Breed.* 2019;62(2):579-583. <https://doi.org/10.5194/aab-62-579-2019>.
35. Whole-Genome Selective Scans Detect Genes Associated With Important Phenotypic Traits in Sheep (*Ovis aries*) / SS Xu, L Gao, M Shen, F Lyu. *Front Genet.* 2021;(12):738879. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.738879>.

Вклад авторов: Екатерина В. Карпенко – оформление и подготовка рукописи, формулирование выводов; Арина А. Савельева – анализ и обобщение данных литературных источников; Игорь В. Церенов – сбор данных.

Contribution of the author's: Ekaterina V. Karpenko – design and preparation of the manuscript, formulation of conclusions; Arina A. Savelieva – analysis and synthesis of data from literary sources; Igor V. Tserenov – data collection.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Информация об авторах (за исключением контактного лица):

Савельева Арина Алексеевна – студентка, Волгоградский государственный университет; 400062, Россия, Волгоград, пр. Университетский, д. 100; e-mail: aarsaav@yandex.ru;

Церенов Игорь Васильевич – старший научный сотрудник отдела производства продукции животноводства, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции; 400066, Россия, Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6; e-mail: niimmp@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4592-5168>.

Information about the authors (excluding the contact person):

Arina A. Savelieva – Student, Volgograd State University; 100, Universitetsky prospect, Volgograd, 400062, Russian Federation; e-mail: aarsaav@yandex.ru;

Igor V. Tserenov – Senior Researcher, Livestock Production Department, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production; 6, Rokossovsky st., Volgograd, 400066, Russian Federation; e-mail: niimmp@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4592-5168>.

Статья поступила в редакцию / *The article was submitted:* 04.12.2023;
одобрена после рецензирования / *approved after reviewing:* 25.12.2023;
принята к публикации / *accepted for publication:* 26.12.2023