

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 2. С. 87-102.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No. 2. P. 87-102.

Обзорная статья
УДК 636.39:637.174
doi:10.33284/2658-3135-108-2-87

Ген каппа-казеина как фактор качества и сыропригодности молока разных пород коз

Григорий Карапетович Пегливанян¹, Ольга Васильевна Тулинова²

^{1,2}Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста», Санкт-Петербург, Тярлево, Россия

¹Peglivanian_grig@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5194-4851>

²tulinova_59@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5704-4420>

Аннотация. В этом обзоре рассматривается ключевая роль генетических вариантов каппа-казеина (κ-CN) в определении качества молока и способности к сыроделию у разных пород коз. Ген κ-CN, расположенный на хромосоме 6, существенно влияет на свойства коагуляции молока, необходимые для производства сыра. Анализ последних исследований показывает, что генетические полиморфизмы, особенно аллели А, В и Е, существенно влияют на состав молока и технологические характеристики. В частности, аллель В коррелирует с улучшенным содержанием белка и улучшенными свойствами коагуляции, что приводит к более высокому выходу и качеству сыра. Исследования демонстрируют значительные различия пород в распределении аллелей κ-CN, при этом у альпийских и зааненских коз высока частота встречаемости благоприятного аллеля В, в то время как у местных пород, таких как креольская, больше аллелей А. Интеграция методов геномного отбора, таких как GBLUP, повысила эффективность разведения на 15-20 %. В обзоре подчеркивается важность понимания генетических вариаций κ-CN для оптимизации программ разведения и повышения продуктивности молочных коз. Кроме того, он подчеркивает необходимость дальнейших исследований функциональных аспектов вариантов κ-CN и их взаимодействия с другими молочными белками для точного прогнозирования последствий генетической модификации.

Ключевые слова: козы, каппа-казеин, κ-CN (CSN3), коагуляция, молочная продуктивность, сыропригодность

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2025 г. ВНИИГРЖ (№ 124020200029-4).

Для цитирования: Пегливанян Г.К., Тулинова О.В. Ген каппа-казеина как фактор качества и сыропригодности молока разных пород коз (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 2. С. 87-102. [Peglivanyan GK, Tulinova OV. The kappa-casein gene as a factor in the quality and suitability of milk from different goat breeds (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(2):87-102. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-2-87>

Review article

The kappa-casein gene as a factor in the quality and suitability of milk from different goat breeds

Grigory K Peglivanyan¹, Olga V Tulinova²

^{1,2}All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals, branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center for Animal Husbandry - VIZh named after Academician L.K. Ernst", St. Petersburg, Russia

¹Peglivanian_grig@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5194-4851>

²tulinova_59@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5704-4420>

Abstract. This Review definitively shows that kappa-casein (κ-CN) genetic variants play a key role in determining milk quality and cheese-making ability in different goat breeds. The κ-CN gene, locat-

ed on chromosome 6, significantly affects the milk coagulation properties required for cheese production. Analyses of recent studies show that genetic polymorphisms, especially A, B and E alleles, significantly affect milk composition and technological characteristics. The B allele is particularly important as it correlates with higher protein content and better coagulation properties, resulting in higher yields and better cheese quality. Studies demonstrate significant breed differences in the distribution of κ -CN alleles, with Alpine and Saanen goats having a high frequency of the favourable B allele, while local breeds such as Creole have more A alleles. Integration of genomic selection methods such as GBLUP has improved breeding efficiency by 15-20%. This Review emphasises the crucial need to understand κ -CN genetic variation to optimise breeding programmes and enhance dairy goat productivity. It is crucial to emphasise the necessity for further research on the functional aspects of κ -CN variants and their interactions with other milk proteins to accurately predict the effects of genetic modification.

Keywords: goats, kappa-casein, κ -CN (*CSN3*), coagulation, milk production, cheese suitability

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2025 of the RRIFAGB (No. 124020200029-4).

For citation: Peglivanyan GK. Tulinova OV. The kappa-casein gene as a factor in the quality and suitability of milk from different goat breeds (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(2):87-102. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-2-87>

Введение.

Производство козьего молока и сыра имеет важное глобальное и региональное значение, внося существенный вклад в сельскохозяйственную экономику и продовольственную безопасность во многих странах мира. По данным Селионовой М.И., в ряде стран, особенно в регионах, где условия окружающей среды благоприятствуют их разведению по сравнению с разведением крупного рогатого скота (Селионова М.И. и др., 2021; Kubicová L et al., 2019). Российская Федерация занимает 62 место в мире по общему поголовью коз численностью 2,1 млн голов (Хохлов В.В. 2019). Молочное козоводство показало заметный рост из-за увеличившегося потребительского спроса на продукты из козьего молока, обусловленного предполагаемой пользой для здоровья и пригодностью козьего молока для людей с аллергией на коровье молоко (Rai DC et al., 2022). Качество козьего молока является критическим фактором, влияющим на эффективность производства и свойства козьего сыра, продукта, который набирает популярность благодаря своим особым вкусовым и текстурным профилям. Следовательно, понимание факторов, влияющих на качество молока, в том числе генетического состава молочных белков, важно для оптимизации процессов сыроделия и улучшения общего качества козьих молочных продуктов (Park YW et al., 2007).

Подводя итог, можно сказать, что ген каппа-казеина влияет на качество и сыропригодность молока коз, участвуя в образовании и стабилизации белкового комплекса, что необходимо для производства сыров. Вариативность в данном гене может являться перспективным маркером в селекции молочных коз.

Цель работы.

Изучить полиморфизм гена каппа-казеина в молоке коз различных пород как фактор его качества и сыропригодности.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. В качестве материалов для обзора использованы различные литературные источники, в которых представлены данные исследований по гену каппа-казеина (κ -CN) и его коагуляционным свойствам в козьем молоке, находящиеся в электронных базах данных PubMed и Elibrary за период с 1988 по 2024 годы. В поисковых запросах были использованы следующие основные ключевые слова и комбинации: qPCR, экспрессия, goats, kappa-casein, *CSN3*, coagulation, milk production, cheese suitability.

Результаты исследования и их обсуждение.

Каппа-казеин (κ-CN) – фракция казеина, молочного белка, содержащегося в молоке млекопитающих, особенно важный в молочной промышленности из-за его роли в производстве сыра. У коз он кодируется на хромосоме 6. Каппа-казеин способствует образованию мицелл, которые необходимы для стабилизации молока и влияют на его коагуляционные свойства во время производства сыра (Ярлыков Н.Г. и др., 2012).

Каппа-казеин составляет около 12-15 % от общего количества белка в коровьем молоке и играет важную роль в определении его физических и химических свойств. Различные варианты гена каппа-казеина связаны с вариациями выхода молока. Например, с генотипом ВВ связаны наивысшие значения по показателям каппа-казеина (2,66±0,05 %), жира (4,36±0,06 %) и белка (3,46±0,06 %) (p<0,001) (Arslan M et al., 2020; Bugeac T et al., 2013).

Каппа-казеин действует как стабилизатор в процессе свертывания, что необходимо для производства сыра. Он помогает формировать гелеобразную структуру при добавлении сычужного фермента в молоко, облегчая отделение сгустка от сыворотки (Arslan M, 2020; Vătăşescu BRA et al., 2007).

Генетическое разнообразие гена каппа играет решающую роль в определении эффективности и качества производства сыра, что привлекает особое внимание у исследователей в области генетики молока (Чаицкий А.А. и др., 2022).

Ген каппа-казеина имеет несколько полиморфных вариантов – наиболее примечательными являются А, В и Е, которые приводят к различным вариантам генотипов (АА, АВ, ВВ и т. д.), каждый из которых связан с определенными свойствами молока. Исследования показывают, что аллель В особенно полезен, коррелируя с более высоким содержанием белка и улучшенными коагуляционными свойствами молока, тем самым повышая выход и качество сыра (Caroli A et al., 2001; Jann OC et al., 2004).

В таблице 1 представлены генотипы в гене *CSN3* у исследуемых пород коз (Pizarro MG et al., 2020; Caravaca F et al., 2011; Maga EA et al., 2009; Caroli A et al., 2001; Naowanat N et al., 2024).

Таблица 1. **Выявленные генотипы в гене *CSN3* у различных пород коз**
 Table 1. **Genotypes identified in the *CSN3* gene in different goat breeds**

Порода / Breed	Генотипы / Genotypes
Зааненская / <i>Saanen</i>	BC, AB, AA, AC, CE, AE, BF, CF, BE, AF, EE, EF
Альпийская / <i>Alpine</i>	AB, AA, AE, BF, BE, AF, EE, EF, FF
Нубийская / <i>Nubian</i>	BB, AB, AA, EE, BF, FF, AF, AN, BN
Мурсиано-гранадина / <i>Murciano-Granadina</i>	AA, AB, EE, BB, EF, FF, BE, AF, BF,

Производители молочной продукции все чаще прибегают к отбору пород коз с желательными генотипами каппа-казеина, стремясь оптимизировать производство сыра, учитывая предпочтения потребителей в отношении высококачественных молочных продуктов (Caravaca F et al., 2011).

Однако отбор коз по гену каппа-казеина с использованием методов разведения и генетической селекции с желательными генотипами может привести к снижению генетического разнообразия в популяциях коз. Хотя целевое разведение направлено на улучшение хозяйственно полезных признаков, оно вызывает опасения относительно долгосрочной устойчивости пород коз и их способности адаптироваться к изменяющимся условиям (Rahmatalla SA et al., 2022).

Семейство казеиновых белков представляет собой группу фосфопротеинов, которые составляют основную фракцию белка в молоке, составляя приблизительно 80 % от общего содержания белка в коровьем и козьем молоке (Fox PF et al., 2008). Казеины необходимы для пищевой

ценности молока и играют решающую роль в образовании и стабилизации мицелл, которые представляют собой коллоидные частицы, переносящие кальций и фосфат в молоко (Horne DS, 2020). Семейство казеинов включает четыре основных типа: α 1-казеин, α 2-казеин, β -казеин и κ -казеин (каппа-казеин), каждый из которых обладает различными свойствами и функциями. α 1-казеин и α 2-казеин в первую очередь отвечают за связывание и транспортировку кальция и других минералов, способствуя структурной целостности мицеллы (Huppertz T, 2012). β -казеин в козьем молоке известен своими эмульгирующими свойствами и ролью в формировании структуры мицеллы (Barłowska J, 2012). Однако каппа-казеин уникален по своей функции, поскольку он находится на поверхности мицеллы и имеет важное значение для стабильности и коагуляционных свойств молока (Dagleish DG, 2011).

В процессе производства сыра κ -казеин особенно важен, поскольку он является субстратом для фермента химозина, который расщепляет пептидную связь между аминокислотами 105 и 106 κ -казеина, что приводит к образованию пара-каппа-казеина и гликомакропептида (Walstra P et al., 2005). Это расщепление является первым шагом в процессе коагуляции, в результате чего образуется творог, который удерживает молочный жир и другие твердые вещества молока, что необходимо для производства сыра (Singh H and Waungana A, 2001). Таким образом, свойства κ -казеина оказывают непосредственное влияние на время коагуляции, плотность творога и, в конечном итоге, выход и качество сыра (Buchberger J and Dovč P, 2000).

Ген каппа-казеина (κ -CN) характеризуется четко определенной структурой, включающей как экзоны, так и интроны. Понимание генетической организации локуса κ -CN имеет решающее значение для выяснения механизмов, регулирующих его экспрессию и для выявления генетических вариантов, которые влияют на состав молока и свойства сыроделия. Ген κ -CN у большинства млекопитающих, включая коз и крупный рогатый скот, организован в пять экзонов и четыре интрона (Alexander LJ et al., 1988). Экзоны – это кодирующие области гена, которые транскрибируются в информационную РНК (мРНК) и впоследствии транслируются в белок, тогда как интроны – это некодирующие области, которые вырезаются во время обработки мРНК. Экзоны: пять экзонов гена κ -CN пронумерованы последовательно от 5' до 3' конца гена. Первый экзон (экзон 1) относительно короткий и в основном содержит 5' нетранслируемую область (UTR), которая играет роль в регуляции экспрессии гена. Экзоны 2-5 содержат кодирующую последовательность для белка κ -CN. Примечательно, что экзон 4 является самым длинным и кодирует значительную часть зрелого белка, включая область, которая имеет решающее значение для образования и стабильности мицелл (Feligini M et al., 2002). Интроны: четыре интрона (интроны с 1 по 4) разбросаны между экзонами. Эти интроны различаются по длине и последовательности, но обычно не кодируют белки. Однако они содержат важные регуляторные элементы, которые могут влиять на экспрессию генов. Например, интронные последовательности могут содержать усилители или сайленсеры, которые модулируют скорость транскрипции (Groenen MAM and van der Poel JJ, 1994). Кроме того, сплайсинг интронов является критическим этапом в созревании мРНК, а альтернативные схемы сплайсинга могут приводить к образованию различных изоформ белков. Помимо экзонов и интронов, локус гена κ -CN содержит регуляторные элементы, которые необходимы для его правильной экспрессии (Lemaу DG et al., 2009).

В Российской Федерации в настоящее время разводят 9 пород коз различного направления продуктивности, в том числе 5 молочного (Ежегодник по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2023 год), 2024). поголовье на конец 2023 года составило 1 млн 631,8 тыс. гол., из которых 41,3 % – молочных. Удой в расчете на 1 козотатку в племенных хозяйствах составил 865 кг, в том числе по зааненской породе – 901 кг, по альпийской – 707 кг, нубиан – 625 кг.

Поголовье коз зааненской породы составило 40,89 тыс. гол. или 83,0 % от всех молочных пород. Данная порода является одной из самых популярных молочных коз в мире, известная своей высокой молочной продуктивностью: удой козотаток зааненской породы за 210 дней первой лактации составил 449,8 кг. Животные отличаются скороспелостью и высокой адаптационной способ-

ностью к разведению в различных климатических зонах. Эти козы, происходящие из долины Заанен в Швейцарии, были селекционированы для получения высокой молочной продуктивности, что делает их предпочтительным выбором как для небольших, так и для коммерческих молочных хозяйств. Зааненские козы обычно обладают спокойным нравом, что облегчает управление и обработку и способствует их широкому внедрению в различные системы фермерского хозяйства. Приспособляемость зааненских коз к различным климатическим условиям еще больше повышает интерес к ним как к молочной породе, позволяя фермерам выращивать их в разных географических точках. Эта способность в сочетании с высоким потенциалом молочной продуктивности делает зааненских коз неотъемлемой частью мировой молочной промышленности (Wang L et al., 2024; Лейбова В.И. и Позовникова М.В., 2024).

У этой породы коз обычно наблюдается высокая частота генотипа ВВ (99,20 %), что коррелирует с повышенным содержанием белка ($3,29 \pm 0,05$ %) в молоке, частоты аллелей гена *CSN3* А составляют 0,096, В – 0,451. Наличие варианта В имеет важное значение, поскольку он улучшает коагуляционные свойства молока, делая его особенно подходящим для производства сыра (Nilsen TW and Graveley BR, 2010). Исследование Rahmatalla A с соавторами (2022) подчеркнуло, что встречаемость аллеля В гена каппа-казеина у зааненских коз составила $>0,70$. Было показано, что аллель В коррелирует с улучшенным выходом сыра и лучшей текстурой, что делает молоко зааненских коз очень востребованным среди сыроделов. Исследования, проведенные Dincel D с коллегами (2021), показали, что зааненские козы с генотипом ВВ демонстрируют высокое общее содержание белка ($3,29 \pm 0,05$ %) и жира ($3,59 \pm 0,07$ %) в молоке, частота генотипов ВВ – 99,20 % и АВ – 0,8 %. Это генетическое преимущество не только повышает пищевую ценность молока, но и поддерживает его использование в производстве различных молочных продуктов, включая йогурт и масло (Ding X et al., 2013).

По данным ежегодника по племенной работе в овцеводстве и козоводстве на конец 2023 года поголовье породы мурсиано-гранадина составило 0,45 тыс. гол. Эта порода является одной из наиболее консолидированных испанских пород коз, для которой характерна способность адаптироваться к новым условиям содержания, широкая пастбищная база, а также качество молока, в большей мере пригодного для производства сыра (Delgado JV et al., 2017). Новые внедренные методы в селекционную программу по разведению коз мурсиано-гранадина позволяют отбирать племенных животных с использованием молекулярно-генетических методов, на основе идентификации генов *DGATI*, *LALBA*, связанных с повышенной продуктивностью и качеством молока (Khan MI et al., 2024). Порода мурсиано-гранадина известна своей высокой молочной продуктивностью – 615 кг за 210 дней лактации. Козы этой породы отличаются значительной генетической изменчивостью в гене каппа-казеина. Генотипы АВ и ВВ связаны с высоким содержанием общего белка и казеина по сравнению с генотипами АА, аллелей гена *CSN3* А – 0,448, В 0,552. (Yang X et al., 2024).

В стадах Российской Федерации поголовье Альпийских коз на конец 2023 года составило 6,70 тыс. гол (Ежегодник по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2023 год), 2024). Альпийские козы известны своим крепким здоровьем и высокой молочной продуктивностью 780 кг за лактацию, а также своей адаптивностью и являются объектом различных генетических исследований, направленных на понимание полиморфизмов каппа-казеина и их влияния на характеристики молока. Геном альпийских коз демонстрирует широкий спектр генотипов каппа-казеина, при этом исследования показывают, что некоторые генотипы (например, СС) превосходят другие (например, ТТ) по содержанию молочного белка $3,41 \pm 0,02$ % (СС), $3,00 \pm 0,05$ % (ТТ) и жира $4,53 \pm 0,16$ % (СС), $3,47 \pm 0,19$ % (ТТ). Козы с генотипом ВВ производят молоко с более высоким общим содержанием белка и казеина по сравнению с козами с генотипами АА или АВ. Генетическая основа альпийских коз может быть стратегически использована в программах разведения, направленных на улучшение молочных качеств. Выбирая особей с благоприятными генотипами, каппа-казеина, селекционеры могут повысить общую производительность

стада и качество молока, тем самым способствуя более эффективной работе молочного хозяйства (Селионова М.И. и др., 2023).

Поголовье Нубийских коз в России в конце 2023 года составило 0,89 тыс. гол. Нубийские козы известны своим высоким содержанием (3,4-3,9 %) молочного жира и часто несут генотип ТТ каппа-казеина, который связан с благоприятными характеристиками, такими как высокий выход сыра. Изучение полиморфизмов гена каппа-казеина у нубийских коз дало представление о влиянии этого гена на белковый профиль молока. Исследование Nicogu IMC с коллегами (2023) показало, что у нубийских коз наблюдалась заметная частота генотипа ТТ 0,55 в локусе *CSN3*, что было связано с более высокими уровнями белка и казеина в их молоке по сравнению с другими генотипами. В другом исследовании Mahmoud NMA с соавторами (2024) подтвердили идею о том, что нубийские козы с определенными генотипами каппа-казеина, особенно несущие вариант ТТ, производят молоко с превосходными качественными характеристиками, то есть эти генотипы были связаны с повышенным содержанием сухого вещества, белка и улучшенными свойствами для сыроделия. Muñoz-Salinas F с коллегами (2022) провели сравнительный анализ белкового состава козьего молока разных пород, включая нубийских, французских альпийских и креольских коз. Их результаты показали, что нубийское козье молоко имеет особый белковый профиль, характеризующийся более высоким уровнем казеина 18 % по сравнению с другими породами.

Превращение молока в сыр во многом зависит от технологических свойств сырья, причем порода является решающим фактором, который влияет как на состав, так и на коагуляционные свойства молока, используемого для сыроделия (Caballero-Villalobos J et al., 2024).

Высокое содержание жира и белка, в частности казеина, в коровьем и козьем молоке способствует лучшим свойствам коагуляции и выходу сыра. В конце 1980-х годов считалось, что в козьем молоке отсутствует белок альфа s1-казеин (α s1-CN). Коровье и козье молоко содержат схожие пропорции к-CN (10-24 %) и α s2-CN (5-19%). Однако козье молоко содержит более высокие уровни бета-казеина (β -CN: 42-64 % против 34-41 %) и более низкие уровни α s1-CN (4-26 % против 36-40 %), чем коровье молоко. Поскольку α s1-CN участвует в образовании сырного сгустка, влияние низкого α s1-CN в молоке может быть значительным. Одним из результатов этого различия является то, что сырный сгусток, изготовленный из козьего молока, как правило, мягче, чем из коровьего молока, даже при схожих уровнях казеина. Во время коагуляции казеин и фосфат кальция соединяют мицеллы вместе, образуя сеть, которая захватывает жир и другие твердые частицы. Из этого следует, что более доступный белок, в первую очередь в форме казеина, должен способствовать быстрому образованию сети казеина, захвату большего количества твердых частиц в творог и более плотному творогу. Молоко с высоким содержанием твердых веществ, особенно СОМО и белка, начало коагулировать позже (время коагуляции – длинное СТ 128 Pa/s), чем молоко с низким содержанием твердых веществ. Данный факт позволяет предположить, что белок задерживает начало коагуляции. Эти результаты подтверждаются Ambrosoli R с соавторами (1988), которые обнаружили, что коагуляция началась раньше в козьем молоке с низким содержанием казеина, чем в козьем молоке с высоким содержанием казеина. Предполагается, что удлинение СТ при высоком уровне белка может быть частично связано с наличием большего количества α s1-CN и α s2-CN в молоке. Эти две фракции белка могут задерживать образование творога, связывая ионы Ca^{2+} , делая меньше доступных для связывания после протеолиза к-казеина сычужным ферментом. Козье молоко с высоким содержанием твердых веществ, СОМО, белка и жира быстро коагулирует и образует более плотный творог, чем молоко с низким содержанием этих компонентов. Сыроделам интересно повысить скорость коагуляции и плотность творога, поскольку оба эти фактора являются экономически важными. Поэтому тем, кто интересуется сыроделием, рекомендуется выбирать коз, с высоким содержанием твердых веществ (Clark S and Sherbon JW, 2000).

Козье молоко с низким и высоким содержанием α s1-казеина у животных альпийской и зааненской пород на одной и той же стадии лактации, сравнивались по свойствам коагуляции (время коагуляции, скорость образования сгустка, твердость сгустка) и химическому составу (общее количество сухих веществ, зола, общий белок, общий казеин, сывороточный белок, жир, Са, Р, рН).

Молоко с низким содержанием α s1-казеина имело более быстрое время коагуляции, тогда как молоко с высоким содержанием давало более плотный сгусток, связанный с лучшим химическим составом. В молоке с высоким содержанием α s1-казеина сравнение между породами показало, что молоко коз альпийской породы имело значительно лучшие свойства коагуляции, чем зааненской породы. Состав молока объяснял 27 % вариации времени коагуляции, 21 % вариации скорости образования сгустка и 54 % вариации твердости сгустка (Ambrosoli R et al., 1988).

Многие фенотипические и генетические факторы, такие как стадия лактации, система содержания и порода могут оказывать влияние на характеристики молока. Что касается свойств коагуляции, обнаружено, что характеристики коагуляции в образцах молока от отдельных коз составляют от 20 до 60 % от общей дисперсии и даже около 70 % – в случае плотности творога (Nayik GA et al., 2022; Vacca GM et al., 2018).

В конце 1980-х годов были выявлены результаты относительно козьего α S1-CN. Коагуляционные свойства (время коагуляции, скорость образования сгустка и твердость сгустка) и состав козьего молока с низким и высоким содержанием α S1-CN различаются. Козье молоко с низким содержанием α S1-CN имело более короткое время коагуляции, тогда как молоко с высоким содержанием α S1-CN имело более высокие уровни компонентов и давало более твердый сгусток (Ambrosoli R et al., 1988). Установлено, что 10 различных генетических вариантов влияют на выраженный фенотип α S1-CN, и генетические варианты связаны с породами, составом молока и свойствами коагуляции (Clark S and Sherbon JW, 2000; Pazzola M et al., 2022).

Доля влияния генотипа по гену *CSN3* на коагуляционные свойства обусловлена генетическими аспектами (полиморфизмом казеина, генами сывороточного белка) (Dettori ML et al., 2015). По сравнению с коровьим молоком овечьё и козье молоко характеризуются коротким временем сычужной коагуляции. Твердость сгустка овечьего молока почти не зависит от времени сычужной коагуляции. Что касается козьего молока, то время свертывания сычужного фермента и выход сыра сильно зависят от породы (Pazzola M., 2019).

Основными факторами в сыроделии являются выход сыра (% CY) и суточный выход сыра (dCY), которые являются экономически важными при разведении молочных коз. Коагуляционные свойства козьего молока, связаны с высоким значением количества казеина (>82 %) в молоке (Stocco G et al., 2018). За последние десятилетия замена местных пород коз на острове Сардиния (Италия) специализированными породами привела к увеличению общего надоя молока и снижению содержания жира и белка в молоке, а также коагуляционной способности (Boyazoglu J et al., 2001). Среди пород коз большое различие наблюдались по составу молока, коагуляционной способности и эффективности сыроделия (Curtò S et al., 2019; Lôbo RNB et al., 2017; Soryal K et al., 2005).

Увеличение производства молока у коз требует многогранного подхода, который объединяет генетику, кормление и содержание. Генетический отбор является одним из ключевых факторов стратегий разведения для улучшения производства молока.

Ключевые аспекты включают:

Наследуемость молочной продуктивности у коз – умеренная (приблизительно 0,30), в то время как признаки, связанные с составом молока (содержание жира и белка), имеют более высокие значения наследуемости (приблизительно 0,50-0,60) (Barillet F et al., 2005).

Отбор с помощью маркеров, идентификация однонуклеотидных полиморфизмов (SNP), связанных с признаками молочной продуктивности, позволяют селекционерам выбирать животных с желаемыми генетическими профилями. Например, SNP в таких генах, как *POUIF1* и *PRLR*, связаны с высоким надоем молока за лактацию и средним дневным надоем молока (Gündüz Z et al., 2023). Использование генов-кандидатов в селекции позволяет сфокусировать анализ на конкретных генах, участвующих в ключевых процессах, которые могут оказывать воздействие на интересные признаки (Тарасова Е.И. и Нотова С.В., 2020).

Основным инструментом в селекции является искусственный отбор, изменяющий генетический состав популяций скота. Выявление генов, связанных с желательными качествами, может быть полезным для выяснения их влияния на фенотипическую изменчивость. В животноводстве

выявление генов, находящихся под давлением отбора, должно быть полезным для определения их биологических ролей, а также для выявления генетических мутаций с полезными эффектами на признаки, представляющие экономический интерес (Guan D et al., 2021). Использование геномных инструментов может ускорить процесс селекции, обеспечивая более точный отбор. Эффективное управление репродуктивными характеристиками имеет решающее значение для максимального увеличения производства молока. У многих пород коз начало репродуктивного цикла связано с продолжительностью солнечного света, то есть им свойственна сезонная модель разведения, которая ограничивает производство молока в определенное время года. Отбор по способности к разведению вне сезона может помочь стабилизировать производство молока круглый год (Desire S et al., 2018). Это подразумевает понимание генетической основы репродуктивных признаков и отбор животных, которые могут размножаться вне традиционных сезонов.

Возраст первого окота также важен в разведении молочного козоводства. Снижение возраста, в котором у самок происходит первый окот, может значительно повысить производительность на протяжении всей жизни. Программы разведения должны быть сосредоточены на отборе признаков, способствующих более раннему созреванию.

Исследования в области GWAS анализа также могут идентифицировать гены-кандидаты, влияющие на хозяйственно полезные признаки (Martin P et al., 2017). Французскими исследователями с использованием GWAS анализа был идентифицирован ген диацилглицерол О-ацилтрансферазы 1 (DGAT1) на хромосоме 14 как функциональный и позиционный ген-кандидат, влияющий на содержание жира. Было обнаружено 29 полиморфизмов, включая две новые мутации, R251L и R396W, которые связаны с заметным снижением содержания жира в молоке. В породе зааненской частота мутации R251L составила 3,5 %, в зааненской и альпийской частота мутации R396W – 13 % и 7 % соответственно (Martin P et al., 2017).

Методы геномного отбора дают геномные оценочные племенные ценности (GEBV), которые более точны, по сравнению с индексами племенной ценности (EBV) (Ding X et al., 2013). Во Франции все альпийские и зааненские козлы, прошедшие проверку по потомству, были генотипированы с использованием чипа SNP коз Illumina 52K. Референтная популяция состояла из 677 козлов и 148 кандидатов на отбор. Используя одношаговый подход с геномным наилучшим линейным несмещенным прогнозированием (GBLUP), точность прогнозирования кандидатов была улучшена с 22 % до 37 % для обеих пород по сравнению с двухшаговым методом и была выше, чем на основе среднего значения официальных оценок родителей (Carillier C et al., 2014).

Заключение.

Идентификация и характеристика генетических вариантов к-CN, таких как А, В и Е, имеют решающее значение для понимания их влияния на свойства молока. Например, вариант ВВ часто ассоциируется с улучшенными характеристиками свертывания молока и выходом сыра. У альпийской и зааненской пород чаще встречается вариант ВВ, что делает их более подходящими для производства сыра. Интеграция генотипирования к-CN в селекционные программы позволяет более точно отбирать животных с желаемыми генетическими характеристиками. Таким образом, следует отметить, что при разведении коз молочного направления продуктивности с целью повышения количества, улучшения качества и технологических свойств козьего молока для производства сыров высокого качества следует проводить регулярное тестирование животных по гену к-CN с последующим отбором особей с желательным генотипом и формированием родительских пар для получения животных нового поколения. Воспроизводство стада молодняком с желательными генотипами позволит увеличить валовое производство молока с желательными вкусовыми и технологическими качествами для сыропроизводства.

Список источников

1. Влияние гена каппа-казеина на молочную продуктивность коз альпийской и нубийской пород / М.И. Селионова, Е.К. Жаркова, М.А. Глущенко, К.А. Беломестнов // Аграрный вестник Северного Кавказа. 2023. № 3(51). С. 34-40. [Selionova MI, Zharkova EK, Glushchenko MA, Belomestnov KA. The effect of the kappa-casein gene on the dairy productivity of alpine and nubian goats. Agrarian Bulletin of the North Caucasus. 2023;3(51):34-40. (*In Russ.*)]. doi: 10.31279/2949-4796-2023-3-51-34-40
2. Влияние генотипов гена каппа-казеина на сыропригодные свойства молока коров / А.А. Чаицкий, А.Д. Лемякин, А.Н. Тяжченко, К.Д. Сабетова, П.О. Щеголев, С.Г. Белокуров, И.А. Кофиади, А.В. Смирнова // Вестник АПК Верхневолжья. 2022. № 2(58). С. 33-43. [Chaitsky AA, Lemyakin AD, Tyazhchenko AN, Sabetova KD, Shchegolev PO, Belokurov SG, Smirnova AV. Influence of genotypes of kappa-casein gene on cheese properties of cow's milk. Vestnik APK Verhnevolzh'ja 2022;2(58):33-43. (*In Russ.*)]. doi: 10.35694/YARCX.2022.58.2.005
3. Генетические маркеры в козоводстве (обзор) / М.И. Селионова, В.И. Трухачев, А-М.М. Айбазов, Ю.А. Столповский, Н.А. Зиновьева // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 6. С. 1031-1048. [Selionova MI, Trukhachev VI, Aybazov A-MM, Stolpovsky YuA, Zinovieva NA. Genetic markers of goats (review). Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2021;56(6):1031-1048. (*In Russ.*)]. doi:10.15389/2021.6.1031rus doi: 10.15389/agrobiology.2021.6.1031eng
4. Ежегодник по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2023 год). Лесные Поляны: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», 2024. 334 с. [Ezhegodnik po plemennoi rabote v ovtsevodstve i kozovodstve v khozyaistvakh Rossiiskoi Federatsii (2023 god). Lesnye Polyany: FGBNU «Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut plemennogo dela»; 2024:334 p. (*In Russ.*)].
5. Лейбова В.Б., Позовникова М.В. Вариативность морфометрических параметров тела у коз зааненской породы разных месяцев рождения и их связь с продуктивными и репродуктивными показателями // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. №. 3. С. 47-56. [Leibova VB, Pozovnikova MV. Variability of body morphometric parameters in Saanen goats of different months of birth and their relationship with productive and reproductive indicators. Animal Husbandry and Fodder Production. 2024;107(3):47-56. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-107-3-47
6. Тарасова Е.И., Нотова С.В. Гены-маркеры продуктивных характеристик молочного скота (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. №. 3. С. 58-80. [Tarasova EI, Notova SV. Gene markers of the productive characteristics of dairy cattle (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2020;103(3):58-80. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-103-3-58
7. Хохлов В.В. Применение препарата Нитамин перед проведением случной компании для восполнения витаминов в организме лактирующих коз альпийской породы // Животноводство и кормопроизводство. 2019. Т. 102. №. 4. С. 246-255. [Khokhlov VV. The use of Nitamin before mating to replenish vitamins in the body of lactating goats of the Alpine breed. Animal Husbandry and Fodder Production. 2019;102(4):246-255. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-102-4-246
8. Ярлыков Н.Г., Тамарова Р.В. Влияние генотипа каппа-казеина на сыропригодность молока коров ярославской породы и михайловского типа: монография. Ярославль: ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА», 2012. 124 с. [Yarlykov NG, Tamarova RV. Vliyanie genotipa kapra-kazeina na syroprigodnost' moloka korov jaroslavskoj porody i mihajlovskogo tipa: monografija. Jaroslavl': FGBOU VPO «Jaroslavskaja GSXA»; 2012:124 p. (*In Russ.*)].
9. Alexander LJ, Stewart AF, Mackinlay AG, Kapelinskaya TV, Tkach TM, Gorodetsky SI. Isolation and characterization of the bovine k-casein gene. European Journal of Biochemistry. 1988;178(2):395-401. doi: 10.1111/j.1432-1033.1988.tb14463.x
10. Ambrosoli R, di Stasio L, Mazzocco P. Content of α s1-casein and coagulation properties in goat milk. Journal of Dairy Science. 1988;71(1):24-28. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(88)79520-X
11. Arslan M. A new primer designing for PCR-RFLP analysis of A and B genetic variants of bovine kappa-casein. Harran Univ Vet Fak Derg. 2020;9(1):006-011. doi: 10.31196/huvfd.651821

12. Arslan M. Sığır kappa-kazeinin a ve b genetik varyantlarının PCR-RFLP analizi için yeni bir primer dizaynı. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*. 2020;9(1):6-11. doi: 10.31196/huvfd.651821
13. Barillet F, Astruc JM, Clément V, Lagriffoul G, Marie-Etancelin C, Piacère A, et al. Improving milk yield and quality in dairy sheep and goats through genetics. *Future Of The Sheep And Goats Dairy Sector. Proceedings of an International Symposium, 28-30 October 2004, Zaragoza, Spain*. 2005; Special Issue 0501:134-142.
14. Barłowska J, et al. Milk proteins' polymorphism in various species of animals associated with milk production utility. In: Hurley W, editor. *Milk Protein*. InTech; 2012:235-264. doi: 10.5772/50715
15. Boyazoglu J, Morand-Fehr P. Mediterranean dairy sheep and goat products and their quality: A critical review. *Small Ruminant Research*. 2001;40(1):1-11. doi: 10.1016/S0921-4488(00)00203-0
16. Buchberger J, Dovč P. Lactoprotein genetic variants in cattle and cheese making ability. *Food technol biotechnol*. 2000;38(2):91-98.
17. Bugeac T, Bâlțeanu V, Creangă Ș. Kappa-casein genetic variants and their relationships with milk production and quality in Montbéliarde dairy cows. *Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologie*. 2013;70(1):193-194.
18. Caballero-Villalobos J, Garzón A, Angón E, Arias R, Cecchinato A, Amalfitano N, Perea JM. Exploring breed-specific milk coagulation in Spanish dairy sheep: a canonical correlation approach. *Animals*. 2024;14(6):900. doi: 10.3390/ani14060900
19. Caravaca F, Ares JL, Carrizosa J, Urrutia B, Baena F, Jordana J, Badaoui B, Sánchez A, Angiolillo A, Amills M, Serradilla JM. Effects of α s1-casein (CSN1S1) and κ -casein (CSN3) genotypes on milk coagulation properties in Murciano-Granadina goats. *J Dairy Res*. 2011;78(1):32-37. doi: 10.1017/S002202991000083X
20. Carillier C, Larroque H, Robert-Granié C. Comparison of joint versus purebred genomic evaluation in the French multi-breed dairy goat population. *Genetics Selection Evolution*. 2014;46:67. doi: 10.1186/s12711-014-0067-3
21. Caroli A, Jann O, Budelli E, Bolla P, Jäger S, Erhardt G. Genetic polymorphism of goat κ -casein (CSN3) in different breeds and characterization at DNA level. *Animal Genetics*. 2001;32(4):226-230. doi: 10.1046/j.1365-2052.2001.00765.x
22. Clark S, Sherbon J. W. α s1-casein, milk composition and coagulation properties of goat milk. *Small Ruminant Research*. 2000;38(2):123-134. doi: 10.1016/S0921-4488(00)00154-1
23. Currò S, Manuelian CL, De Marchi M, De Palo P, Claps S, Maggolino A, Neglia G. Autochthonous dairy goat breeds showed better milk quality than Saanen under the same environmental conditions. *Archives Animal Breeding*. 2019;62(1):83-89. doi: 10.5194/aab-62-83-2019
24. Dalgleish DG. On the structural models of bovine casein micelles—review and possible improvements. *Soft Matter*. 2011;7(6):2265-2272. doi: 10.1039/C0SM00806K
25. Delgado JV, Landi V, Barba CJ, Fernández J, Gómez MM, Camacho ME, León JM. Murciano-granadina goat: a spanish local breed ready for the challenges of the twenty-first century. In: Simões J, Gutiérrez C, editors. *Sustainable goat production in adverse environments: Volume II*. Springer, Cham. 2017;1:205-219. doi: 10.1007/978-3-319-71294-9_15
26. Dettori ML, Pazzola M, Paschino P, Pira MG, Vacca G. Variability of the caprine whey protein genes and their association with milk yield, composition and renneting properties in the Sarda breed. 1. The LALBA gene. *Journal of Dairy Research*. 2015;82(4):434-441. doi: 10.1017/S0022029915000461
27. Desire S, Mucha S, Coffey M, Mrode R., Broadbent J, Conington J. Pseudopregnancy and aseasonal breeding in dairy goats: genetic basis of fertility and impact on lifetime productivity. *Animal*. 2018;12(9):1799-1806. doi: 10.1017/S1751731117003056
28. Dincel D, Ardicli S, Samli H, Ogan MM, Balci F. Evaluation of some environmental and genetic factors (CSN3 and AGPAT6 gene) on milk yield and composition in Saanen goats. *Veterinarski Arhiv*. 2021;91(1):19-30. doi: 10.24099/vet.arhiv.0860

29. Ding X, Zhang Z, Li X, Wang S, Wu X, Sun D et al. Accuracy of genomic prediction for milk production traits in the Chinese Holstein population using a reference population consisting of cows. *Journal of Dairy Science*. 2013;96(8):5315-5323. doi: 10.3168/jds.2012-6194
30. Feligini M, Cubric-Curik V, Parma P, Curik I, Greppi GF, Enne G. Polymorphism of κ -casein in Italian goat breeds: A new ACRS-PCR designed DNA test for discrimination of A and B alleles. *Food Technology and Biotechnology*. 2002;40(4):293-298.
31. Fox PF, Brodtkorb A. The casein micelle: Historical aspects, current concepts and significance. *International Dairy Journal*. 2008;18(7):677-684. doi: 10.1016/j.idairyj.2008.03.002
32. Groenen MAM, van der Poel JJ. Regulation of expression of milk protein genes: a review. *Livestock Production Science*. 1994;38(2):61-78. doi: 10.1016/0301-6226(94)90051-5
33. Guan D, Martínez A, Luigi-Sierra MG, Delgado JV, Landi V, Castelló A, Fernández Álvarez J, Such X, Jordana J, Amills M. Detecting the footprint of selection on the genomes of Murciano-Granadina goats. *Animal Genetics*. 2021;52(5):683-693. doi: 10.1111/age.13113
34. Gündüz Z, Biçer O. Milk-y Way: the impact of single-nucleotide polymorphisms on milk production traits in Kilis dairy goats. *Archives Animal Breeding*. 2023;66(4):369-378. doi: 10.5194/aab-66-369-2023
35. Horne DS. Casein micelle structure and stability. *Milk proteins*. Academic Press; 2020:213-250. doi: 10.1016/B978-0-12-815251-5.00006-2
36. Huppertz T. Chemistry of the caseins. In: McSweeney P, Fox P, editors. *Advanced Dairy Chemistry: Volume 1A: Proteins: Basic Aspects*, 4th Edition. Boston, MA: Springer US; 2012:135-160. doi: 10.1007/978-1-4614-4714-6_4
37. Jann OC, Prinzenberg EM, Luikart G, Caroli A, Erhardt G. High polymorphism in the kappa-casein (CSN3) gene from wild and domestic caprine species revealed by DNA sequencing. *J Dairy Res*. 2004;71(2):188-95. doi: 10.1017/S0022029904000093
38. Khan MI, Bertram H, Schmitt AO, Ramzan F, Gültas M. Computational identification of milk trait regulation through transcription factor cooperation in murciano-granadina goats. *Biology*. 2024;13(11):929. doi: 10.3390/biology13110929
39. Kubicová Ľ, Predanociová K, Kádeková Z. The importance of milk and dairy products consumption as a part of rational nutrition. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2019;13(1):234-243. doi: 10.5219/1050
40. Lemay DG, Lynn DJ, Martin WF, Neville MC, Casey TM, Rincon G, Rijnkels M. The bovine lactation genome: insights into the evolution of mammalian milk. *Genome Biology*. 2009;10:R43. doi: 10.1186/gb-2009-10-4-r43
41. Lôbo RNB, Facó O, Souza V, Alves AAC, Costa AC, Albuquerque MAM, et al. Characterization of milk production and composition of four exotic goat breeds in Brazil. *Small Ruminant Research*. 2017;153:9-16. doi: 10.1016/j.smallrumres.2017.05.005
42. Maga EA, Daftari P, Kültz D, Penedo MC. Prevalence of α s1-casein genotypes in American dairy goats. *Journal of animal science*. 2009;87(11):3464-3469. doi: 10.2527/jas.2009-1854
43. Mahmoud NMA, El-Zubeir IEM. Milk composition, production, and reproduction performance of local and exotic dairy goats in Khartoum State, Sudan. *Farm Animal Health and Nutrition*. 2024;3(3):46-56. doi: 10.58803/fahn.v3i3.49
44. Martin P, Palhière I, Maroteau C, Bardou P, Canale-Tabet K, Sarry J, Tosser-Klopp G. A genome scan for milk production traits in dairy goats reveals two new mutations in Dgat1 reducing milk fat content. *Scientific Reports*. 2017;7(1):1872. doi: 10.1038/s41598-017-02052-0
45. Muñoz-Salinas F, Andrade-Montemayor HM, De la Torre-Carbot K, Duarte-Vázquez MÁ, Silva-Jarquín JC. Comparative analysis of the protein composition of goat milk from French Alpine, Nubian, and Creole breeds and Holstein Friesian cow milk: Implications for early infant nutrition. *Animals*. 2022;12(17):2236. doi: 10.3390/ani12172236
46. Naowanat N, Suwattana D, Suphap B. Casein gene polymorphism of goat in Thailand. *The Thai Journal of Veterinary Medicine*. 2024;54(2):211-219. doi: 10.56808/2985-1130.1034

47. Nayik GA, Jagdale YD, Gaikwad SA, Devkate AN, Dar AH, Ansari MJ. Nutritional profile, processing and potential products: A comparative review of goat milk. *Dairy*. 2022;3(3):622-647. doi: 10.3390/dairy3030044
48. Nicory IMC, de Carvalho Rodrigues TCG, Tosto MSL, Bittencourt RF, Mariz LDS, Azevedo JAG, Santos SA. Nutritional attributes of goat milk obtained from Anglo Nubian, Moxoto, and Saanen breeds in different lactation phases. *International Dairy Journal*. 2023;145:105720. doi: 10.1016/j.idairyj.2023.105720
49. Nilsen TW, Graveley BR. Expansion of the eukaryotic proteome by alternative splicing. *Nature*. 2010;463(7280):457-463. doi: 10.1038/nature08909
50. Park YW, Juárez M, Ramos M, Haenlein GFW. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*. 2007;68(1-2):88-113. doi: 10.1016/j.smallrumres.2006.09.013
51. Pazzola M, Amalfitano N, Bittante G, Dettori ML, Vacca GM. Composition, coagulation properties, and predicted cheesemaking traits of bulk goat milk from different farming systems, breeds, and stages of production. *Journal of Dairy Science*. 2022;105(8):6724-6738. doi: 10.3168/jds.2022-22098
52. Pazzola M. Coagulation traits of sheep and goat milk. *Animals*. 2019;9(8):540. doi: 10.3390/ani9080540
53. Pizarro MG, Landi V, Navas FJ, León JM, Martínez A, Fernández J, Delgado JV. Non-parametric analysis of casein complex genes' epistasis and their effects on phenotypic expression of milk yield and composition in Murciano-Granadina goats. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(9):8274-8291. doi: 10.3168/jds.2019-17833
54. Rahmatalla SA, Arends D, Brockmann GA. Review: Genetic and protein variants of milk caseins in goats. *Front Genet*. 2022;13:995349. doi: 10.3389/fgene.2022.995349
55. Rai DC, Rathaur A, Yadav AK. Nutritional and nutraceutical properties of goat milk for human health: A review. *Indian Journal of Dairy Science*. 2022;75(1):1-10. doi: 10.33785/IJDS.2022.v75i01.001
56. Singh H, Waungana A. Influence of heat treatment of milk on cheesemaking properties. *International Dairy Journal*. 2001;11(4-7):543-551. doi: 10.1016/S0958-6946(01)00085-1
57. Soryal K, Beyene FA, Zeng S, Bah B, Tesfai K. Effect of goat breed and milk composition on yield, sensory quality, fatty acid concentration of soft cheese during lactation. *Small Ruminant Research*. 2005;58(3):275-281. doi: 10.1016/j.smallrumres.2004.11.003
58. Stocco G, Pazzola M, Dettori ML, Paschino P, Bittante G, Vacca GM. Effect of composition on coagulation, curd firming, and syneresis of goat milk. *Journal of Dairy Science*. 2018;101(11):9693-9702. doi: 10.3168/jds.2018-15027
59. Vacca GM, Stocco G, Dettori ML, Pira E, Bittante G, Pazzola M. Milk yield, quality, and coagulation properties of 6 breeds of goats: Environmental and individual variability. *Journal of Dairy Science*. 2018;101(8):7236-7247. doi: 10.3168/jds.2017-14111
60. Vătăşescu BRA, Georgescu SE, Manea MA, Dinischiotu A, Costache M. Analysis of beta-lactoglobulin and kappa-casein genotypes in cattle. *Archiva Zootechnica*. 2007;10:111-114.
61. Walstra P, Wouters JT, Geurts TJ. *Dairy science and technology*. 2nd edition. CRC Press; 2005:808. doi: 10.1201/9781420028010
62. Wang L, Zhang P, Du Y, Wang C, Zhang L, Yin L, Huang W. Effect of heat stress on blood biochemistry and energy metabolite of the Dazu black goats. *Frontiers in Veterinary Science*. 2024;11:1338643. doi: 10.3389/fvets.2024.1338643
63. Yang X, Li Q, Wang Y, Wang J, Hu J, Ji Z, Chao T. Research progress on genomic regions and candidate genes related to milk composition traits of dairy goats based on functional genomics: a narrative review. *Genes*. 2024;15(10):1341. doi: 10.3390/15101341

References

1. Selionova MI, Zharkova EK, Glushchenko MA, Belomestnov KA. The effect of the kappa-casein gene on the dairy productivity of alpine and nubian goats. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2023;3(51):34-40. doi: 10.31279/2949-4796-2023-3-51-34-40
2. Chaitsky AA, Lemyakin AD, Tyazhchenko AN, Sabetova KD, Shchegolev PO, Belokurov SG, Smirnova AV. Influence of genotypes of kappa-casein gene on cheese properties of cow's milk. *Herald of Agroindustrial complex of Upper Volga region*. 2022;2(58):33-43. doi: 10.35694/YARCX.2022.58.2.005
3. Selionova MI, Trukhachev VI, Aybazov A-MM, Stolpovsky YuA, Zinovieva NA. Genetic markers of goats (review). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*. 2021;56(6):1031-1048. doi:10.15389/2021.6.1031rus doi: 10.15389/agrobiology.2021.6.1031eng
4. Yearbook on breeding work in sheep and goat breeding in farms of the Russian Federation (2023). *Lesnye Polyany: All-Russian Scientific Research Institute of Breeding*; 2024:334 p.
5. Leibova VB, Pozovnikova MV. Variability of body morphometric parameters in Saanen goats of different months of birth and their relationship with productive and reproductive indicators. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(3):47-56. doi: 10.33284/2658-3135-107-3-47
6. Tarasova EI, Notova SV. Gene markers of the productive characteristics of dairy cattle (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(3):58-80. doi: 10.33284/2658-3135-103-3-58
7. Khokhlov VV. The use of Nitamin before mating to replenish vitamins in the body of lactating goats of the Alpine breed. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2019;102(4):246-255. doi: 10.33284/2658-3135-102-4-246
8. Yarlykov NG, Tamarova RV. The effect of kappa-casein genotype on the milk cheeseability of cows of Yaroslavskaya breed and Mikhailovsky type: monograph. Yaroslavl: Yaroslavl State Agricultural Academy; 2012:124 p.
9. Alexander LJ, Stewart AF, Mackinlay AG, Kapelinskaya TV, Tkach TM, Gorodetsky SI. Isolation and characterization of the bovine kappa-casein gene. *European Journal of Biochemistry*. 1988;178(2):395-401. doi: 10.1111/j.1432-1033.1988.tb14463.x
10. Ambrosoli R, di Stasio L, Mazzocco P. Content of kappa-casein and coagulation properties in goat milk. *Journal of Dairy Science*. 1988;71(1):24-28. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(88)79520-X
11. Arslan M. A new primer designing for PCR-RFLP analysis of A and B genetic variants of bovine kappa-casein. *Harran Üniv Vet Fak Derg*. 2020;9(1):006-011. doi: 10.31196/huvfd.651821
12. Arslan M. Sığır kappa-kazeinin a ve b genetik varyantlarının PCR-RFLP analizi için yeni bir primer dizaynı. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*. 2020;9(1):6-11. doi: 10.31196/huvfd.651821
13. Barillet F, Astruc JM, Clément V, Lagriffoul G, Marie-Etancelin C, Piacère A, et al. Improving milk yield and quality in dairy sheep and goats through genetics. *Future Of The Sheep And Goats Dairy Sector. Proceedings of an International Symposium, 28-30 October 2004, Zaragoza, Spain*. 2005; Special Issue 0501:134-142.
14. Barłowska J, et al. Milk proteins' polymorphism in various species of animals associated with milk production utility. In: Hurley W, editor. *Milk Protein*. InTech; 2012:235-264. doi: 10.5772/50715
15. Boyazoglu J, Morand-Fehr P. Mediterranean dairy sheep and goat products and their quality: A critical review. *Small Ruminant Research*. 2001;40(1):1-11. doi: 10.1016/S0921-4488(00)00203-0
16. Buchberger J, Dovč P. Lactoprotein genetic variants in cattle and cheese making ability. *Food technol biotechnol*. 2000;38(2):91-98.
17. Bugeac T, Bâlțeanu V, Creangă Ș. Kappa-casein genetic variants and their relationships with milk production and quality in Montbéliarde dairy cows. *Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologie*. 2013;70(1):193-194.
18. Caballero-Villalobos J, Garzón A, Angón E, Arias R, Cecchinato A, Amalfitano N, Peñarela JM. Exploring breed-specific milk coagulation in Spanish dairy sheep: a canonical correlation approach. *Animals*. 2024;14(6):900. doi: 10.3390/ani14060900

19. Caravaca F, Ares JL, Carrizosa J, Urrutia B, Baena F, Jordana J, Badaoui B, Sánchez A, Angiolillo A, Amills M, Serradilla JM. Effects of α s1-casein (CSN1S1) and κ -casein (CSN3) genotypes on milk coagulation properties in Murciano-Granadina goats. *J Dairy Res.* 2011;78(1):32-37. doi: 10.1017/S002202991000083X
20. Carillier C, Larroque H, Robert-Granié C. Comparison of joint versus purebred genomic evaluation in the French multi-breed dairy goat population. *Genetics Selection Evolution.* 2014;46:67. doi: 10.1186/s12711-014-0067-3
21. Caroli A, Jann O, Budelli E, Bolla P, Jäger S, Erhardt G. Genetic polymorphism of goat κ -casein (CSN3) in different breeds and characterization at DNA level. *Animal Genetics.* 2001;32(4):226-230. doi: 10.1046/j.1365-2052.2001.00765.x
22. Clark S, Sherbon J. W. Alpha_{s1}-casein, milk composition and coagulation properties of goat milk. *Small Ruminant Research.* 2000;38(2):123-134. doi: 10.1016/S0921-4488(00)00154-1
23. Currò S, Manuelian CL, De Marchi M, De Palo P, Claps S, Maggiolino A, Neglia G. Autochthonous dairy goat breeds showed better milk quality than Saanen under the same environmental conditions. *Archives Animal Breeding.* 2019;62(1):83-89. doi: 10.5194/aab-62-83-2019
24. Dalgleish DG. On the structural models of bovine casein micelles—review and possible improvements. *Soft Matter.* 2011;7(6):2265-2272. doi: 10.1039/C0SM00806K
25. Delgado JV, Landi V, Barba CJ, Fernández J, Gómez MM, Camacho ME, León JM. Murciano-granadina goat: a spanish local breed ready for the challenges of the twenty-first century. In: Simões J, Gutiérrez C, editors. *Sustainable goat production in adverse environments: Volume II.* Springer, Cham. 2017;1:205-219. doi: 10.1007/978-3-319-71294-9_15
26. Dettori ML, Pazzola M, Paschino P, Pira MG, Vacca G. Variability of the caprine whey protein genes and their association with milk yield, composition and renneting properties in the Sarda breed. 1. The LALBA gene. *Journal of Dairy Research.* 2015;82(4):434-441. doi: 10.1017/S0022029915000461
27. Desire S, Mucha S, Coffey M, Mrode R., Broadbent J, Conington J. Pseudopregnancy and aseasonal breeding in dairy goats: genetic basis of fertility and impact on lifetime productivity. *Animal.* 2018;12(9):1799-1806. doi: 10.1017/S1751731117003056
28. Dincel D, Ardicli S, Samli H, Ogan MM, Balci F. Evaluation of some environmental and genetic factors (CSN3 and AGPAT6 gene) on milk yield and composition in Saanen goats. *Veterinarski Arhiv.* 2021;91(1):19-30. doi: 10.24099/vet.arhiv.0860
29. Ding X, Zhang Z, Li X, Wang S, Wu X, Sun D et al. Accuracy of genomic prediction for milk production traits in the Chinese Holstein population using a reference population consisting of cows. *Journal of Dairy Science.* 2013;96(8):5315-5323. doi: 10.3168/jds.2012-6194
30. Feligini M, Cubric-Curik V, Parma P, Curik I, Greppi GF, Enne G. Polymorphism of κ -casein in Italian goat breeds: A new ACRS-PCR designed DNA test for discrimination of A and B alleles. *Food Technology and Biotechnology.* 2002;40(4):293-298.
31. Fox PF, Brodtkorb A. The casein micelle: Historical aspects, current concepts and significance. *International Dairy Journal.* 2008;18(7):677-684. doi: 10.1016/j.idairyj.2008.03.002
32. Groenen MAM, van der Poel JJ. Regulation of expression of milk protein genes: a review. *Livestock Production Science.* 1994;38(2):61-78. doi: 10.1016/0301-6226(94)90051-5
33. Guan D, Martínez A, Luigi-Sierra MG, Delgado JV, Landi V, Castelló A, Fernández Álvarez J, Such X, Jordana J, Amills M. Detecting the footprint of selection on the genomes of Murciano-Granadina goats. *Animal Genetics.* 2021;52(5):683-693. doi: 10.1111/age.13113
34. Gündüz Z, Biçer O. Milk-y Way: the impact of single-nucleotide polymorphisms on milk production traits in Kilis dairy goats. *Archives Animal Breeding.* 2023;66(4):369-378. doi: 10.5194/aab-66-369-2023
35. Horne DS. Casein micelle structure and stability. *Milk proteins.* Academic Press; 2020:213-250. doi: 10.1016/B978-0-12-815251-5.00006-2

36. Huppertz T. Chemistry of the caseins. In: McSweeney P, Fox P, editors. *Advanced Dairy Chemistry: Volume 1A: Proteins: Basic Aspects*, 4th Edition. Boston, MA: Springer US; 2012:135-160. doi: 10.1007/978-1-4614-4714-6_4
37. Jann OC, Prinzenberg EM, Luikart G, Caroli A, Erhardt G. High polymorphism in the kappa-casein (CSN3) gene from wild and domestic caprine species revealed by DNA sequencing. *J Dairy Res.* 2004;71(2):188-95. doi: 10.1017/S0022029904000093
38. Khan MI, Bertram H, Schmitt AO, Ramzan F, Gültas M. Computational identification of milk trait regulation through transcription factor cooperation in murciano-granadina goats. *Biology.* 2024;13(11):929. doi: 10.3390/biology13110929
39. Kubicová L, Predanocyová K, Kádeková Z. The importance of milk and dairy products consumption as a part of rational nutrition. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences.* 2019;13(1):234-243. doi: 10.5219/1050
40. Lemay DG, Lynn DJ, Martin WF, Neville MC, Casey TM, Rincon G, Rijnkels M. The bovine lactation genome: insights into the evolution of mammalian milk. *Genome Biology.* 2009;10:R43. doi: 10.1186/gb-2009-10-4-r43
41. Lôbo RNB, Facó O, Souza V, Alves AAC, Costa AC, Albuquerque MAM, et al. Characterization of milk production and composition of four exotic goat breeds in Brazil. *Small Ruminant Research.* 2017;153:9-16. doi: 10.1016/j.smallrumres.2017.05.005
42. Maga EA, Daftari P, Kültz D, Penedo MC. Prevalence of α s1-casein genotypes in American dairy goats. *Journal of animal science.* 2009;87(11):3464-3469. doi: 10.2527/jas.2009-1854
43. Mahmoud NMA, El-Zubeir IEM. Milk composition, production, and reproduction performance of local and exotic dairy goats in Khartoum State, Sudan. *Farm Animal Health and Nutrition.* 2024;3(3):46-56. doi: 10.58803/fahn.v3i3.49
44. Martin P, Palhière I, Maroteau C, Bardou P, Canale-Tabet K, Sarry J, Tosser-Klopp G. A genome scan for milk production traits in dairy goats reveals two new mutations in Dgat1 reducing milk fat content. *Scientific Reports.* 2017;7(1):1872. doi: 10.1038/s41598-017-02052-0
45. Muñoz-Salinas F, Andrade-Montemayor HM, De la Torre-Carbot K, Duarte-Vázquez MÁ, Silva-Jarquín JC. Comparative analysis of the protein composition of goat milk from French Alpine, Nubian, and Creole breeds and Holstein Friesian cow milk: Implications for early infant nutrition. *Animals.* 2022;12(17):2236. doi: 10.3390/ani12172236
46. Naowanat N, Suwattana D, Suphap B. Casein gene polymorphism of goat in Thailand. *The Thai Journal of Veterinary Medicine.* 2024;54(2):211-219. doi: 10.56808/2985-1130.1034
47. Nayik GA, Jagdale YD, Gaikwad SA, Devkatte AN, Dar AH, Ansari MJ. Nutritional profile, processing and potential products: A comparative review of goat milk. *Dairy.* 2022;3(3):622-647. doi: 10.3390/dairy3030044
48. Nicory IMC, de Carvalho Rodrigues TCG, Tosto MSL, Bittencourt RF, Mariz LDS, Azevedo JAG, Santos SA. Nutritional attributes of goat milk obtained from Anglo Nubian, Moxoto, and Saanen breeds in different lactation phases. *International Dairy Journal.* 2023;145:105720. doi: 10.1016/j.idairyj.2023.105720
49. Nilsen TW, Graveley BR. Expansion of the eukaryotic proteome by alternative splicing. *Nature.* 2010;463(7280):457-463. doi: 10.1038/nature08909
50. Park YW, Juárez M, Ramos M, Haenlein GFW. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research.* 2007;68(1-2):88-113. doi: 10.1016/j.smallrumres.2006.09.013
51. Pazzola M, Amalfitano N, Bittante G, Dettori ML, Vacca GM. Composition, coagulation properties, and predicted cheesemaking traits of bulk goat milk from different farming systems, breeds, and stages of production. *Journal of Dairy Science.* 2022;105(8):6724-6738. doi: 10.3168/jds.2022-22098
52. Pazzola M. Coagulation traits of sheep and goat milk. *Animals.* 2019;9(8):540. doi: 10.3390/ani9080540
53. Pizarro MG, Landi V, Navas FJ, León JM, Martínez A, Fernández J, Delgado JV. Non-parametric analysis of casein complex genes' epistasis and their effects on phenotypic expression of milk yield and composition in Murciano-Granadina goats. *Journal of Dairy Science.* 2020;103(9):8274-8291. doi: 10.3168/jds.2019-17833
54. Rahmatalla SA, Arends D, Brockmann GA. Review: Genetic and protein variants of milk caseins in goats. *Front Genet.* 2022;13:995349. doi: 10.3389/fgene.2022.995349

55. Rai DC, Rathaur A, Yadav AK. Nutritional and nutraceutical properties of goat milk for human health: A review. *Indian Journal of Dairy Science*. 2022;75(1):1-10. doi: 10.33785/IJDS.2022.v75i01.001
56. Singh H, Waungana A. Influence of heat treatment of milk on cheesemaking properties. *International Dairy Journal*. 2001;11(4-7):543-551. doi: 10.1016/S0958-6946(01)00085-1
57. Soryal K, Beyene FA, Zeng S, Bah B, Tesfai K. Effect of goat breed and milk composition on yield, sensory quality, fatty acid concentration of soft cheese during lactation. *Small Ruminant Research*. 2005;58(3):275-281. doi: 10.1016/j.smallrumres.2004.11.003
58. Stocco G, Pazzola M, Dettori ML, Paschino P, Bittante G, Vacca GM. Effect of composition on coagulation, curd firming, and syneresis of goat milk. *Journal of Dairy Science*. 2018;101(11):9693-9702. doi: 10.3168/jds.2018-15027
59. Vacca GM, Stocco G, Dettori ML, Pira E, Bittante G, Pazzola M. Milk yield, quality, and coagulation properties of 6 breeds of goats: Environmental and individual variability. *Journal of Dairy Science*. 2018;101(8):7236-7247. doi: 10.3168/jds.2017-14111
60. Vătăşescu BRA, Georgescu SE, Manea MA, Dinischiotu A, Costache M. Analysis of beta-lactoglobulin and kappa-casein genotypes in cattle. *Archiva Zootechnica*. 2007;10:111-114.
61. Walstra P, Wouters JT, Geurts TJ. *Dairy science and technology*. 2nd edition. CRC Press; 2005:808. doi: 10.1201/9781420028010
62. Wang L, Zhang P, Du Y, Wang C, Zhang L, Yin L, Huang W. Effect of heat stress on blood biochemistry and energy metabolite of the Dazu black goats. *Frontiers in Veterinary Science*. 2024;11:1338643. doi: 10.3389/fvets.2024.1338643
63. Yang X, Li Q, Wang Y, Wang J, Hu J, Ji Z, Chao T. Research progress on genomic regions and candidate genes related to milk composition traits of dairy goats based on functional genomics: a narrative review. *Genes*. 2024;15(10):1341. doi: 10.3390/15101341

Информация об авторах:

Григорий Карапетович Пегливанян, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста», 196625, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Московское шоссе, д. 55а, тел.: +7(981)7652181.

Ольга Васильевна Тулинова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории генетики и разведения крупного рогатого скота, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста», 196625, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Московское шоссе, д. 55а, тел.: +7(921)3058006.

Information about the authors:

Grigory K Peglivanyan, Junior Researcher of Laboratory of Molecular Genetics, All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals, branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center for Animal Husbandry - VIZh named after Academician L.K. Ernst", 55a, Moscow highway, St. Petersburg, Pushkin, 196601, Russia, tel.: +7(981)7652181.

Olga V Tulinova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of Laboratory of Genetics and Cattle Breeding, All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals, branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center for Animal Husbandry - VIZh named after Academician L.K. Ernst", 196601, St. Petersburg, Tyarlevo, Moscow highway, 55a. tel.: +7(921)3058006.

Статья поступила в редакцию 13.02.2025; одобрена после рецензирования 04.04.2025; принята к публикации 16.06.2025.

The article was submitted 13.02.2025; approved after reviewing 04.04.2025; accepted for publication 16.06.2025.