

УДК 636.2.034:577.29

# Сравнение полиморфизма генов молочных белков козьего и овечьего молока: мировой опыт

А.Г. Кручинин, канд. техн. наук; А.В. Бигаева; С.Н. Туровская; Е.Е. Илларионова<sup>\*</sup>  
ВНИИ молочной промышленности, Москва

Дата поступления в редакцию 29.05.2020  
Дата принятия в печать 28.07.2020

\* turovskaya@vnimi.org

© Кручинин А.Г., Бигаева А.В., Туровская С.Н., Илларионова Е.Е., 2020

## Реферат

Потребительский спрос мирового рынка пищевых продуктов формирует постоянную необходимость в расширении ассортимента и совершенствовании уже имеющихся технологий. Это обуславливает востребованность в сырьевых составляющих с определенными качественными характеристиками. Так, в молочной отрасли огромное значение приобретает корректировка состава протеиновых фракций, обеспечивающая термоустойчивость молока-сырья или, напротив, его способность к сычужной коагуляции. Это, в свою очередь, способствует развитию новых направлений в селекции, ориентированных на выявление генетических маркеров, связанных с качественными и количественными признаками продуктивности молочного скота. Развитие современных методов молекулярно-генетической аналитики сделало возможным проведение селекционного отбора с учетом генетических профилей, определяющих наиболее ценные хозяйственно-полезные признаки животных. С точки зрения оптимальной переработки молока-сырья в области молочного консервирования или сыроделия особое значение приобретает коррекция генов, отвечающих за экспрессию молочных белков. Основная часть молочно-белковых компонентов у хвачих животных кодируется шестью наиболее важными локусами, которые достаточно хорошо описаны на сегодняшний день:  $\alpha_1$ -лактальбумин (*LALBA*),  $\beta$ -лактоглобулин (*BLG*),  $\alpha_s$ -казеин (*CSN1S1*),  $\alpha_s$ -казеин (*CSN1S2*),  $\beta$ -казеин (*CSN2*) и  $\kappa$ -казеин (*CSN3*). Всесторонние изыскания в области молекулярного изучения казеиновых фракций (в особенности по гену *CSN3*) выявили полиморфизмы, ассоциированные с аллельными и генотипическими эффектами на надои, состав и технологические свойства молока не только у коров, но также у молочных коз и овец. В статье приведены результаты наиболее значимых исследований последних лет, осуществленных учеными из разных стран с целью идентификации геномов и генетического полиморфизма фракций протеинов молока мелких сельскохозяйственных молочных животных (коз и овец) и выявления связи молекулярной вариативности с количественными и качественными показателями молока-сырья.

**Ключевые слова**  
ген, генотип,  $\kappa$ -казеин, козье молоко, овечье молоко, коагуляция, молочный белок

**Для цитирования**  
Кручинин А.Г., Бигаева А.В., Туровская С.Н., Илларионова Е.Е. (2020) Сравнение полиморфизма генов молочных белков козьего и овечьего молока: мировой опыт // Пищевая промышленность. 2020. № 8. С. 36–40.

## Comparing gene polymorphism of goat and sheep milk proteins: global experience

A.G. Kruchinin, Candidate of Technical Sciences; A.V. Bigaeva; S.N. Turovskaya; E.E. Illarionova<sup>\*</sup>  
All-Russian Dairy Research Institute, Moscow

Received: May 29, 2020

Accepted: July 28, 2020

\* turovskaya@vnimi.org

© Kruchinin A.G., Bigaeva A.V., Turovskaya S.N., Illarionova E.E., 2020

## Abstract

The global market's demand for food products form a constant need to enhance their variety and to improve the existing technologies. In turn, it explains the necessity for raw ingredients with specific qualitative characteristics. Thus, it is particularly important to correct contents of protein fractions in dairy production, since this process guarantees the heat-resistance of raw milk or its rennet coagulation properties. In result, new directions of selection breeding are being developed. They focus on the revealing of gene markers, related to the qualitative and quantitative cattle productivity features. Due to the development of modern methods of molecular genetic analytics, it is possible now to conduct selection with the consideration of genetic profiles that define the most valuable and economically useful animals' characteristics. As to the optimal processing of raw-milk for the following canning and cheese-making, gene correction plays an essential role as it effects the milk proteins expression. The main part of cattle milk protein components is coded by six most important loci, studied quite thoroughly at the present day: Lactalbumin Alpha (*LALBA*), Beta-lactoglobulin (*BLG*), Casein Alpha S1(*CSN1S1*), Casein Alpha S2 (*CSN1S2*), Casein Beta (*CSN2*) and Casein Kappa (*CSN3*). Comprehensive research in the area of molecular study of casein fractions (particularly of *CSN3* gene) revealed polymorphism, associated with allele and genotypic effects on milk yield, technological traits of not only cow, but goat and sheep milk as well. The article presents the results of the most outstanding recent studies, carried out by scholars from different countries, aiming to identify genomes and genetic polymorphism of sheep and goat milk protein fractions, and to reveal the relation between molecular variability and qualitative and quantitative traits of raw milk.

**Key words**  
gene, genotype,  $\kappa$ -casein, goat milk, sheep milk, coagulation, milk protein

**For citation**  
Kruchinin A.G., Bigaeva A.V., Turovskaya S.N., Illarionova E.E. (2020) Comparing gene polymorphism of goat and sheep milk proteins: global experience // Food processing industry = Пищевая промышленность. 2020. No. 8. P. 36–40.

**Введение.** Многочисленные научные работы последних десятилетий в области молекулярной биологии, геномики и протеомики открыли широкие возможности для понимания структуры и функциональных свойств молочного белка. Результаты исследований выявили не только качественную и количественную изменчивость его фракционного состава, но также показали внутривидовую и внутрипородную вариативность изучаемых критерии [1]. Развитие методов молекулярной диагностики, к примеру, комплексного метода полимеразной цепной реакции с последующим анализом полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (ПЦР-ПДРФ) и секвенирования, открыло перспективы в области идентификации и описания множества биологически активных белковых компонентов, интактных белков и последовательности пептидов для различных видов молочных сельскохозяйственных животных. Что, несомненно, способствует обеспечению отраслей пищевой промышленности биологически ценным сырьем с прогнозируемыми технологическими параметрами [2].

В производстве молочных продуктов огромное значение приобретает не только количественный фракционный состав протеинов, но и их генетическая вариативность, оказывающая значительное влияние на состав получаемого молока и его восприимчивость к определенным режимам в процессе обработки, как, например, устойчивость к высокотемпературному воздействию или способность к сычужной коагуляции [3].

Изучение генетического профиля молочных белков было начато в середине прошлого века для наиболее распространенного во всем мире коровьего молока. На сегодняшний день выявлен и подробно описан полиморфизм генов белковых фракций  $\alpha$ -лактальбумина (*LALBA*),  $\beta$ -лактоглобулина (*BLG*),  $\alpha_5$ -казеина (*CSN1S1*),  $\alpha_5$ -казеина (*CSN1S2*),  $\beta$ -казеина (*CSN2*) и  $\kappa$ -казеина (*CSN3*).

Разносторонние изыскания выявили влияние генотипов и гаплотипов крупного рогатого скота на величину удоев, физико-химические показатели и состав получаемого молока, в том числе состав белковых фракций, а также на его технологические свойства в последующей переработке. Успехи в изучении коровьего молока положили основу для проведения исследований молока других видов жвачных сельскохозяйственных животных, распространенных в различных регионах мира с целью промышленного разведения. Так, учеными из многих стран проводится всесторонний анализ овечьего и козьего молока не только по биохимическим, но и по генетическим показателям. На сегодняшний день подробно описан и представлен к сравнению физико-химический состав молока различных видов [4, 5].

В последнее десятилетие появляется все больше знаний в области изучения генетических особенностей, способствующих усовершенствованию молочного животноводства для отдельных пород коз и овец, разведение которых в определенных ареалах обусловлено совокупностью природно-культурных факторов. В данной статье показаны некоторые результаты работ по исследованию генетического полиморфизма наиболее распространенных мелких молочных животных, позволяющие сделать выводы о межвидовом сходстве и различиях в корреляции выявленных генетических вариантов в локусах *LALBA*, *BLG*, *CSN1S1*, *CSN2*, *CSN1S2* и *CSN3* с физико-химическими, биологическими и технологическими показателями получаемого молочного сырья.

Первые результаты по молекулярно-генетическому изучению молочных коз, выявившие связь полиморфизма казеиновых локусов с признаками продуктивности, а также наиболее значимыми технологическими свойствами молока, были отражены в работах ученых из Франции, Италии, Испании и Норвегии, где популяции данного вида животных широко представлены местными аборигенными породами.

Проводимые исследования были ориентированы в основном на полиморфизм генов *CSN3* и *BLG*, показывая генетическое влияние на выход и качество молока. Секвенирование гена *CSN3* выявило высокий уровень аллельного разнообразия, с доминирующими вариантами A, B и дифференцированными вариантами до G. Ген

*BLG* также в значительной степени полиморфен, однако определяющими аллелями считаются A и B. Большинством работ отмечено, что определенные генотипы *CSN3* и *BLG* коррелируют с процентным содержанием белка и жира в получаемом молоке.

Значительный интерес представляет также ген *CSN1S1*, влияние аллельных вариантов которого на белковомолочность, жирность, технологические свойства молока отмечено в норвежской популяции коз [6]. Выявленное наличие нулевых аллелей генов *CSN1S1* и *CSN2*, обуславливающих отсутствие в составе фракций  $\alpha_5$ -казеина и  $\beta$ -казеина соответственно, делает козье молоко интереснейшей площадкой для изучения вариативности изменения содержания казеиновых фракций. Это особенно верно для животных, несущих нулевые аллели гена *CSN1S1*, где отсутствие компенсаторного синтеза других фракций казеина уравновешивает уменьшенное количество  $\alpha_5$ -казеина. Например, по аналогии с молоком от коров с преобладанием аллеля G гена *CSN1S1* козье молоко с пониженным содержанием  $\alpha_5$ -казеина демонстрирует наиболее короткое время сычужной коагуляции в сравнении со стандартным молоком [7].

Значительное количество исследований козьего молока проведено на острове Сардиния (Италия), где популяция молочных коз составляет около 4,5 тыс. Сарда – это средиземноморская порода, отличающаяся высокой генетической изменчивостью и разнообразием по сравнению с другими породами коз.

В одной из работ изучалось влияние полиморфизма генов казеина на способность молока к сычужной коагуляции с генотипированием животных по генам *CSN1S1*, *CSN2*, *CSN1S2* и *CSN3*. Анализ частот генотипов выявил распространенность сильных вариантов *CSN1S1* – AB и BB и появление слабого генотипа *CSN1S1* – FF. Молоко коз, несущих аллель F по гену *CSN1S1*, отличалось пониженным содержанием жира, а генотип AB был ассоциирован с наиболее высоким содержанием белка в козьем молоке. Помимо этого, гомозиготный генотип FF *CSN1S1* негативно воздействовал на сычужную коагуляцию, а генотип AB, напротив, показал более высокую плотность казеинового сгустка. Локус *CSN2* влиял на все признаки молока, в особенности на содержание белка, наибольшее воздействие отмечено для генотипа AA.

Особенно заметным оказалось влияние генетического полиморфизма гена *CSN3*, когда молоко от коз с генотипом BB обуславливало длительное время сычужного свертывания, а с генотипом AA – самую высокую плотность сгустка, зарегистрированную для козьего молока [7].

В других исследованиях рассмотрена ассоциация генов *LALBA* и *BLG* с дифференцированными козами с составом и технологически

ми свойствами молока. Было обнаружено четыре основных аллельных варианта гена *LALBA* (C, A, G и T) и отмечено влияние генотипов TT, CT, AG и GG на более высокое содержание лактозы, а генотип AA – на меньший надой молока. Гетерозиготный генотип GA характеризовался замедленным временем сычужного свертывания и формирования сгустка, а также самой слабой плотностью сгустка.

По гену *BLG* выявлено всего три аллельных варианта, имеющих достаточную для исследований частоту встречаемости (T, C и A). Гомозиготные козы TT показывали более низкие значения pH, время сычужной коагуляции и качество сгустка, чем CT. В целом полиморфизм гена *BLG* не влиял на общее содержание белка в козьем молоке, а лишь слабо влиял на время сычужного свертывания и плотность сгустка [8].

Той же группой итальянских ученых проведены исследования породы коз Сарда для оценки влияния генотипов на количественные и качественные признаки молока. В локусе гена *CSN1S1* доминировали аллели A и B. Нулевые аллели обнаружены в каждом чувствительном к кальцию генном локусе. В локусе гена *CSN3* наблюдали преобладание аллелей

А и В и появление редких аллелей, таких как B'', C, C', D, E, M и S. Все гены, кроме *CSN3*, значительно влияли на показатели молока. Генотипы BB и AB гена *CSN1S1* коррелировали с наиболее высоким содержанием белка и жира. Генотип AA гена *CSN2* значительно воздействовал на белковомолочность, а генотип AC *CSN1S2* обуславливал самую высокую массовую долю жира и белка [9].

В целом исследователями отмечена сложность в определении эффектов взаимодействия между отдельными генами казеина и сделан вывод о необходимости рассмотрения всего казеинового кластера и его комплексных генотипов для выявления влияния на технологические свойства молока.

Учеными факультета химии, биотехнологии и пищевых наук Норвежского университета естественных наук (NMBU) описаны генетические вариации казеиновых локусов для норвежской популяции молочных коз. Отмечена высокая вариативность всех рассмотренных генов, в особенности локуса *CSN1S1*. В нем были выявлены три полиморфизма, обозначенные как аллели 1 (D), 3 (G) и 6 (A). Аллель 1 в сочетании с определенной делецией в экзоне 9 способствовали очень высокой частоте появления нулевого аллеля *CSN1S1*. Последующий анализ выявил шесть вариантов гаплотипов для локуса *CSN1S1* (H1-H6), по четыре варианта для локусов *CSN2* (H1-H4) и *CSN1S2* (H1-H4) и пять – для *CSN3* (H1-H5). Для каждого локуса, за исключением *CSN3*, первые два гаплотипа имели частоту встречаемости более 80%.

Гаплотипы в локусе *CSN1S1* оказывали существенное воздействие на молочную продуктивность, содержание в молоке белка, жира и СМО. Варианты H1, H4 и H6 отрицательно влияли на белковомолочность, тогда как H2 и H5 имели положительную корреляцию с этим показателем. Наибольший негативный эффект на содержание белка оказывали комплексы H1×H2, H1×H5 и H1×H6, а наилучший результат был отмечен у комплекса H2×H5. Два гаплотипа локуса *CSN1S1* (H1 и H4) были ассоциированы с пониженным содержанием жира, а гаплотип H5 оказывал положительное влияние на этот показатель. Совокупность гаплотипов H1×H5 и H1×H6 показывала значительный отрицательный эффект, а по H2×H5 была связана с увеличением процентного содержания жировой фазы.

Гаплотипы в локусе *CSN3* также ощутимо воздействовали на процентное содержание белка. Поскольку ген *CSN3* занимает важное место в формировании, стабилизации и агрегации казеиновых мицелл, неоспоримым считается его влияние на технологические свойства получаемого молока. Так, гаплотип H1 оказывал отрицательное влияние, а гаплотип H3 давал явный положительный эффект

по белковомолочности. Для генетических вариантов гена *CSN1S2* не выявлено сколько-нибудь значимого влияния на исследуемые показатели [6].

Группа ученых из Аргентины и Колумбии привела результаты генетического анализа 281 молочных коз из 12 стад в Департаменте Антиокия (Колумбия), используя A и B полиморфизмы в генах *CSN3* и *BLG*. В целом генотип AA по гену *BLG* показал больший положительный эффект, чем BB, по всем исследуемым критериям (надой молока, выход белка, выход жира) в любых периодах лактации. Гетерозиготный генотип AB демонстрировал промежуточные значения. По гену *CSN3* не обнаружено существенных различий для генотипов AA и AB (генотип BB выявлен не был). Индексы корреляции генотипов *BLG* и *CSN3* с молочной продуктивностью и критериями качества молока (жир, белок и надой) изменялись в зависимости от периодов лактации [10].

Разведение овец во многих странах осуществляют, как правило, для производства шерсти и мяса. Однако в последние десятилетия возрос интерес к молочному овечьему животноводству. Так, например, в Испании его традиционно используют для производства ценных ремесленных сыров. Мировое увеличение потребления овечьего молока предопределило необходимость его более подробного изучения, в том числе и на молекулярно-генетическом уровне.

В исследовании группы ученых факультета ветеринарной медицины Universidad de Extremadura (Испания) произведена оценка влияния различных генетических вариантов  $\alpha$ -лактальбумина (*LALBA*),  $\beta$ -лактоглобулина (*BLG*) и гормона пролактина (*PRL*) на показатели качества овечьего молока. Оценку производили в 1114 пробах от 396 генотипированных мериносовых овец экспериментального стада. Выявлены и проанализированы аллельные варианты A и B гена *LALBA*, аллели A и B гена *BLG*, а также аллели A и B гена *PRL*. Влияние генотипического профиля на удои и особенности состава определяли с использованием линейной смешанной модели. Аллель гена *LALBA* показал значительную связь с более высоким содержанием жира, белка и СМО. Аллель A гена *BLG* продемонстрировал значительное влияние на повышение жира и белка, а аллель B гена *PRL* обнаружил только ощущимое положительное воздействие на белковомолочность [11].

Той же группой ученых проведена работа по изучению влияния генотипов *CSN2*, *CSN3* и *BLG* на надои, а также содержание жира, белка и лактозы в молоке мериносовых овец с использованием биомоделирования. Произведена оценка влияния генотипов отдельных белковых фракций с последующим моделированием составного генотипа *CSN2-CSN3*.

Ген *CSN2* показал себя полиморфным для изучаемой популяции (аллели A и G). Частота встречаемости аллелей A и G составляла 0,7644 и 0,2356 соответственно. Овцы с гомозиготным генотипом GG по гену *CSN2* продемонстрировали наивысшую продуктивность. По гену *CSN3* выявлено пять аллельных вариантов: K1, K2, K3, K4 и K5. Наибольшая частота встречаемости установлена у генотипа K3K3. Генотипы K1K4 и K3K3 коррелировали с наилучшими показателями удоев, а генотипы K1K4, K2K2 и K3K5 показали связь с самыми высокими значениями массовой доли жира, белка и лактозы соответственно. Овцы с комплексными генотипами AGK3K5 и GGK3K3 по генам *CSN2-CSN3* продемонстрировали наивысшую продуктивность по молоку первой лактации и 120-дневному молоку. Генотипы AGK2K3 и AGK2K2 были ассоциированы с повышенным содержанием жира и белка соответственно. Генотип BB по гену *BLG* также оказывал благоприятное влияние на удои [12].

Учеными кафедры животноводства и генетики Университета Юстуса Либиха (Гиссен, Германия) были исследованы 403 образца молока овец восточно-фризской молочной (EFD) и лакаунской (LAC) пород в трех разных стадах Швейцарии и Германии. EFD и LAC относятся к породам молочных овец, широко представленных во всем мире. EFD – это белая, черная или пятнистая немецкая порода с высокой продуктивностью и плодовитостью. Благодаря этим качествам EFD распространены во многих странах и используются в программах скрещивания с местными видами, (например, в селекции породы Ассаф в Израиле). Овцы LAC – это традиционная порода двойного назначения, распространенная в районе Рокфор и используемая в основном для производства сыра «Рокфор».

В исследованных образцах проведена генотипическая идентификация генов основных молочных белков и выявлены следующие основные аллельные варианты: аллели C и H гена *CSN1S1*, аллели A, B и C гена *CSN1S2*, а также аллели A и B гена *BLG*. По генам *LALBA*, *CSN2* и *CSN3* все животные были мономорфны. Помимо этого, у обеих пород овец установлены комплексные генотипы (*CSN1S1* – *CSN2* – *CSN1S2* – *CSN3*).

При оценке корреляции выявленного генетического полиморфизма с молочной продуктивностью установлено существенное влияние аллелей и генотипов молочного белка на состав белковых фракций. У обеих пород аллель C гена *CSN1S1* ассоциирован с высоким содержанием белка. Молоко животных, несущих генотип CC по гену *CSN1S1*, показало более значимые массовые доли белка и /или жира, чем молоко животных с генотипами AC, BC, CD или DD по *CSN1S1*. Аллельный вариант H по гену *CSN1S1* в сравнении

с вариантом С демонстрировал негативное влияние на все показатели качества молока. Гетерозиготный генотип *CH* гена *CSN1S1*, напротив, показал значительную положительную связь с высоким содержанием жира и тенденцией к увеличению удоев. Генотип *AB* по гену *CSN1S2* значительно улучшал выход молока и жира в сравнении с *AA* у овец EFD. Аллель *B* гена *CSN1S2* также коррелировал с увеличением удоев и массовой доли белка. Генотипы животных по гену *CSN1S2* не проявили значительного влияния на показатели качества молока, однако отмечено, что овцы EFD с генотипом *AA* имели самые низкие показатели продуктивности, содержания жира и белка по сравнению с животными, несущими генотипы *AB* или *BB*. Генотипы животных по гену *BLG* не обнаружили значительной корреляции с показателями молока у овец LAC, тогда как у EFD отмечены четкие ассоциации по массовым долям жира и белка [13].

Факультетом наук о животных Университета сельскохозяйственных наук и природных ресурсов Горгана (Иран) проведено изучение воздействия генотипов *BLG* и *CSN3* на состав молока в иранской аборигенной породе белых овец Zel. Генотипы определяли посредством ПЦР-ПДРФ-анализа. Был обнаружен полиморфизм генов обеих изучаемых фракций. Ген *BLG* был представлен аллелями *A* и *B* и генотипами *AA*, *AB* и *BB*, а ген *CSN3* – аллелями *K1* и *K3*. Исследования показали ассоциацию генотипа *AB* гена *BLG* с более высоким содержанием жира и лактозы, а также установили связь аллеля *K1* гена *CSN3* с увеличением массовой доли лактозы. Отмечены перспективы по улучшению состава овечьего молока породы Zel, используя генетические маркеры *BLG* и *CSN3* [14].

Учеными Сельскохозяйственного колледжа Багдадского университета (Ирак) изучен генетический полиморфизм *CSN3* у 51 особи овец породы Авасси посредством ПЦР-ПДРФ диагностики. Выявлены два аллеля (*A* и *B*) и три генотипа (*AA*, *AB* и *BB*) κ-казеина. Статистический анализ не выявил существенных отличий в компонентах, за исключением молока от овец гетерозиготного генотипа *AB*, оказавшего положительное влияние на содержание жира и белка. Таким образом, показано, что селекционным признаком для животных этой популяции является генотип *AB* гена *CSN3* [15].

В том же университете проведены аналитические работы в выборке из 50 овец породы Авасси для выявления генетических структур гена *BLG* и их связи с качественными и количественными характеристиками овечьего молока. В результате обнаружены две генетические структуры – *AA* и *Aa* – с частотой встречаемости 30% и 70% соответственно. Частота встречаемости аллелей составила 65% для варианта *A* и 35% – для *Aa*. Испытания выявили

существенное увеличение общего надоя и массовой доли жира для варианта *AA* в сравнении с *Aa* вне зависимости от периода лактации и не показали значимых различий по содержанию белка, лактозы и СМО [16].

**Заключение.** Несмотря на значительную межпородную и межвидовую аллельную вариативность, в исследованиях четко прослеживается корреляция основных генов белковых фракций с показателями качества и технологическими свойствами молока.

У коз особенно заметное влияние на надой, состав и сыропригодность молока оказывали генотипы и гаплотипы генов *CSN3* и *CSN1S1*. По воздействию других анализируемых генов (*LALBA*, *BLG*, *CSN2*, *CSN1S2*) информация носит противоречивый характер или не подтверждается.

При изучении полиморфизма молочных белков овечьего молока также неоспоримым является корреляция генотипов *CSN3* и *CSN1S1* со всеми изучаемыми показателями. В меньшей степени отмечено влияние генотипов *LALBA* и *BLG*.

Из представленных материалов следует, что генетические эффекты генов *CSN3* и *CSN1S1*, установленные в результате проанализированных работ, представляют несомненный интерес для дальнейших исследований, а также должны быть учтены при использовании козьего и овечьего молока в сыроподготовке и других направлениях молочного производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Бигаева, А. В. Влияние полиморфных вариантов гена *CSN3* на технологические свойства молока / А. В. Бигаева, А. Г. Кручинин, И. А. Радаева [и др.] // Молочная промышленность. – 2020. – № 4. – С. 54–55. DOI: <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-04-54-55>.
- Ryabova, A. E. Approbation of PCR-RFLP and AS-PCR methods for genotyping cattle by the DGAT1 gene / A. E. Ryabova, I. Y. Mikhailova, Kh. Kh. Gilmanov [et al.] // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Science. – 2019. – Vol. 3. – No. 435. – P. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.68>.
- Зверева, Е. А. Разработка методики определения бета-лактоглобулина в молоке и молочных продуктах с применением метода иммуноферментного анализа / Е. А. Зверева, Н. И. Смирнова, А. В. Жердев [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – С. 477.
- Шувариков, А. С. К вопросу оценки состава и свойств овечьего, козьего и коровьего молока / А. С. Шувариков, К. А. Канина, Т. О. Робкова [и др.] // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2018. – № 1. – С. 20–22.
- Шувариков, А. С. Фракционный состав белков верблюжьего, козьего и коровьего молока / А. С. Шувариков, Е. А. Юррова, В. А. Цветкова [и др.] // Молочная промышленность. – 2015. – № 7. – С. 68–70.
- Dagnachew, B. Additive and dominance effects of casein haplotypes on milk composition and quality in Norwegian dairy goats / B. Dagnachew, T. dn y // Small Ruminant Research. – 2014. – Vol. 122. – No. 1–3. – P. 59–69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.07.020>.
- Pazzola, M. Effect of polymorphisms at the casein gene cluster on milk renneting properties of the Sarda goat / M. Pazzola, M. L. Dettori, E. Pira [et al.] // Small Ruminant Research. – 2014. – Vol. 117. – No. 2–3. – P. 124–130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2013.12.004>.
- Dettori, M. L. Variability of the caprine whey protein genes and their association with milk yield, composition and renneting properties in the Sarda breed: 2 The BLG gene / M. L. Dettori, M. Pazzola, E. Pira [et al.] // Journal of Dairy Research. – 2015. – Vol. 82. – No. 4. – P. 442–448. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022029915000473>.
- Vacca, G. Goat casein genotypes are associated with milk production traits in the Sarda breed / G. Vacca, M. L. Dettori, G. Piras [et al.] // Animal Genetics. – 2014. – Vol. 45. – No. 5. – P. 723–73. DOI: <https://doi.org/10.1111/age.12188>.
- Cardona, S. J. C. Longitudinal data analysis of polymorphisms in the κ-casein and β-lactoglobulin genes shows differential effects along the trajectory of the lactation curve in tropical dairy goats / S. J. C. Cardona, H. C. Cadavid, J. D. Corrales [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2016. – Vol. 99. – No. 9. – P. 7299–7307. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10954>.
- Padilla, P. Polymorphisms of α-lactoalbumin, β-lactoglobulin and prolactin genes are highly associated with milk composition traits in Spanish Merino sheep / P. Padilla, M. Izquierdo, M. Martínez-Trancón [et al.] // Livestock Science. – 2018. – Vol. 217. – P. 26–29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.09.012>.
- Corral, J. M. Associations between milk protein genetic polymorphisms and milk production traits in Merino sheep breed / J. M. Corral, J. A. Padilla, M. Izquierdo // Livestock Science. – 2010. – Vol. 129. – No. 1–3. – P. 73–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.01.007>.

13. Giambra, I.J. Milk protein variants are highly associated with milk performance traits in East Friesian Dairy and Lacaune sheep/I.J. Giambra, H. Brandt, G. Erhardt // Small Ruminant Research. – 2014. – Vol. 121. – No. 2–3. – P. 382–394. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.09.001>.
14. Yousefi, S. Effect of  $\beta$ -lactoglobulin and  $\kappa$ -casein genes polymorphism on milk composition in indigenous Zel sheep/S. Yousefi, M.A. Azari, S. Zerehdaran [et al.] // Archiv fur Tierzucht. – 2013. – Vol. 56. – No. 1. – P. 216–224. DOI: <https://doi.org/10.7482/0003-9438-56-021>.
15. Fadhil, I.A. Genetic polymorphisms of CSN3 gene and its effect on some production traits // Iraqi Journal of Agricultural Sciences. – 2019. – Vol. 50. – No. 2. – P. 500–505.
16. Ibrahim, W.I. Association of  $\beta$ -lactoglobulin gene polymorphism with milk production and composition in local Awassi sheep/W.I. Ibrahim, H.A. Hassooni, W.J. Alkhazraji // Plant Archives. – 2019. – Vol. 19. – P. 284–288.
- productakh s primeneniem metoda immunofermentnogo analiza [Development of method for determination of beta-lactoglobulin in milk and milk products by enzyme-linked immunosorbent assay]. Sovremennie problemi nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]. 2013. No. 5. P. 477 (In Russ.).
4. Shuvarikov AS, Kanina KA, Robkova TO, Yurova EA. K voprosu otsenki sostava i svoystv ovech'ego, koz'ego i korov'ego moloka [To the question of evaluating the composition and properties of lamb, goat and cow milk]. Ovtsi, kozi, sherstyanoe delo [Sheep, goats, wool]. 2018. No. 1. P. 20–22 (In Russ.).
5. Shuvarikov AS, Yurova EA, Tsvetkova VA, Pastuh ON. Fraktsionniy sostav belkov verbylyuzh'ego, koz'ego i korov'ego moloka [Comparative assessment of the camel, goat and cow milks with account of fractional composition of proteins]. Molochnaya promyshlennost' [Dairy industry]. 2015. No. 7. P. 68–70 (In Russ.).
6. Dagnachew B, Ådnøy T. Additive and dominance effects of casein haplotypes on milk composition and quality in Norwegian dairy goats. Small Ruminant Research. 2014. Vol. 122 (1–3). P. 59–69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.07.020>.
7. Pazzola M, Dettori ML, Pira E, Noce A, Paschino P, Vacca GM. Effect of polymorphisms at the casein gene cluster on milk renneting properties of the Sarda goat. Small Ruminant Research. 2014. Vol. 117 (2–3). P. 124–130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2013.12.004>.
8. Dettori ML, Pazzola M, Pira E, Puggioni O, Vacca G. Variability of the caprine whey protein genes and their association with milk yield, composition and renneting properties in the Sarda breed: 2 The BLG gene. Journal of Dairy Research. 2015. Vol. 82 (4). P. 442–448. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022029915000473>.
9. Vacca G, Dettori ML, Piras G, Manca F, Paschino P, Pazzola M. Goat casein genotypes are associated with milk production traits in the Sarda breed. Animal Genetics. 2014. Vol. 45 (5).
- P. 723–73. DOI: <https://doi.org/10.1111/age.12188>.
10. Cardona SJC, Cadavid HC, Corrales JD, Munilla S, Cantet RJC, Rogberg-Muñoz A. Longitudinal data analysis of polymorphisms in the  $\kappa$ -casein and  $\beta$ -lactoglobulin genes shows differential effects along the trajectory of the lactation curve in tropical dairy goats. Journal of Dairy Science. 2016. Vol. 99. No. 9. P. 7299–7307. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10954>.
11. Padilla P, Izquierdo M, Martínez-Trancón M, Parejo JC, Rabasco A, Salazar J et al. Polymorphisms of  $\alpha$ -lactoalbumin,  $\beta$ -lactoglobulin and prolactin genes are highly associated with milk composition traits in Spanish Merino sheep. Livestock Science. 2018. Vol. 217. P. 26–29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.09.012>.
12. Corral JM, Padilla JA, Izquierdo M. Associations between milk protein genetic polymorphisms and milk production traits in Merino sheep breed. Livestock Science. 2010. Vol. No. 129 (1–3). P. 73–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.01.007>.
13. Giambra IJ, Brandt H, Erhardt G. Milk protein variants are highly associated with milk performance traits in East Friesian Dairy and Lacaune sheep. Small Ruminant Research. 2014. Vol. 121. No. 2–3. P. 382–394. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.09.001>.
14. Yousefi S, Azari MA, Zerehdaran S, Samiee R., Khataminejhad R. Effect of  $\beta$ -lactoglobulin and  $\kappa$ -casein genes polymorphism on milk composition in indigenous Zel sheep. Archiv fur Tierzucht. 2013. Vol. 56. No. 1. P. 216–224. DOI: <https://doi.org/10.7482/0003-9438-56-021>.
15. Fadhil IA. Genetic polymorphisms of CSN3 gene and its effect on some production traits. Iraqi Journal of Agricultural Sciences. 2019. Vol. 50. No. 2. P. 500–505.
16. Ibrahim WI, Hassooni HA, Alkhazraji WJ. Association of  $\beta$ -lactoglobulin gene polymorphism with milk production and composition in local Awassi sheep. Plant Archives. 2019. Vol. 19. P. 284–288.

## REFERENCES

1. Bigaeva AV, Kruchinin AG, Radaeva IA, Gilmanov Kh Kh, Illarionova EE. Vliyanie polimorfnykh variantov gena CSN3 na tekhnologicheskie svoystva moloka [Influence of polymorphic CSN3 gene types on technological traits of milk]. Molochnaya promyshlennost' [Dairy industry]. 2020. No. 4. P. 54–55 (In Russ.).
2. Ryabova AE, Mikhailova IY, Gilmanov Kh Kh, Rzhanova IV, Asembaeva EK, Nurmukhanbetova DE. Approbation of PCR-RFLP and AS-PCR methods for genotyping cattle by the DGAT1 gene. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Science. 2019. No. 3 (435). P. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.68>.
3. Zvereva EA, Smirnova NI, Zherdev AV, Dzantiev BB, Yurova EA, Denisovich E Yu et al. Razrabotka metodiki opredeleniya beta-lactoglobulina v moloke i molochnikh

## Авторы

Кручинин Александр Геннадьевич, канд. техн. наук,  
Бигаева Аланы Владиславовна,  
Туровская Светлана Николаевна,  
Илларионова Елена Евгеньевна  
Всероссийский научно-исследовательский институт молочной про-  
мышленности, 115093, Москва, ул. Люсиновская, д. 35, корп. 7,  
a\_kruchinin@vnimi.org, ada14-5@yandex.ru, \_turovskaya@vnimi.org,  
e\_illarionova@vnimi.org

## Authors

Alexander G. Kruchinin, Candidate of Technical Sciences,  
Alana V. Bigaeva,  
Svetlana N. Turovskaya,  
Elena E. Illarionova  
All-Russian Dairy Research Institute, 35, building 7, Lusinovskaya  
str., Moscow, 115093, a\_kruchinin@vnimi.org, ada14-5@yandex.ru,  
\_turovskaya@vnimi.org, e\_illarionova@vnimi.org