

# Фундаментальные принципы и механизмы формирования сыропригодности молочного сырья

Владимир Александрович Плешков, канд. с.-х. наук, доцент кафедры

E-mail: 6110699@mail.ru

Оксана Васильевна Козлова, д-р. техн. наук, профессор, директор технологического института пищевой промышленности

E-mail: ms.okvk@mail.ru

Кемеровский государственный университет, г. Кемерово

В статье представлен анализ основных факторов, оказывающих влияние на формирование сыропригодности молока. Рассмотрены взаимосвязанные и соподчиненные влияния генетического потенциала молочного скота и условий внешней среды. Целью работы являлся комплексный анализ влияния генетических и паратипических факторов на ключевые показатели сыропригодности молока, а также обобщение практических мер по управлению этими факторами для обеспечения сыродельной промышленности стабильным, стандартизированным и технологически совершенным сырьем. Проанализирована роль генетических факторов как первичного и лимитирующего условия. Раскрыто влияние породной принадлежности и полиморфизма ключевых генов ( $\kappa$ -казеина (CSN3),  $\beta$ -казеина (CSN2),  $as1$ -казеина (CSN1S1),  $\beta$ -лактоглобулина (LGB), липогенного фермента DGAT1 и генов устойчивости к маститу) на состав, структурные и функциональные свойства белков и жира молока. Генетический потенциал определяет биологические рамки возможного, а селекция на технологически ценные аллели является стратегическим фундаментом. Раскрываются механизмы, посредством которых паратипические факторы реализуют или подавляют генетическую программу организма. Показано, что их влияние носит глубокий регуляторный характер, осуществляется через сложные сигналы и эпигенетические модификации, тонко настраивающие экспрессию генов в клетках молочной железы в ответ на доступность ресурсов и внешние вызовы. Особое внимание уделено деструктивному воздействию субклинического мастита и стресса, запускающих биохимические изменения, снижающие сыропригодность. Предложена практическая система управления изменчивостью сырья, обусловленной физиологическим состоянием и сезонностью. Обоснована необходимость исключения из технологического потока молозива и стародойного молока, а также стратегия сглаживания колебаний через внедрение системы круглогодичного равномерного отела и обязательной технологической операции созревания молока. Делается вывод – достижение стабильного качества молочного сырья возможно лишь при комплексном подходе. Он должен объединять направленную генетическую селекцию, средовое управление, основанное на понимании молекулярных механизмов, и безусловное соблюдение технологических регламентов. Такая система позволяет минимизировать естественную неоднородность молока и обеспечить предсказуемость процесса сыродельного производства.

**Ключевые слова:** генетический полиморфизм казеинов, паратипические факторы, эпигенетическая регуляция, субклинический мастит, сычужное свертывание

**Для цитирования:** Плешков, В. А. Фундаментальные принципы и механизмы формирования сыропригодности молочного сырья / В. А. Плешков, О. В. Козлова // Сыроделие и маслоделие. 2026. № 1. С. 67–91. <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2026-1-50>

## Введение

Молоко, являясь уникальной биологической жидкостью и основным сырьем для молочной промышленности, представляет собой сложную полидисперсную систему, включающую эмульсию жира, коллоидный раствор белков и истинный раствор лактозы, минеральные вещества и витамины [1–3]. Его состав и технологические свойства непостоянны и подвержены значительным колебаниям под влиянием многочисленных факторов [4, 5]. Для производства сыра, одного из наиболее технологически сложных, наукоемких и ценных молочных продуктов, требуется молоко не просто высокого санитарно-гигиенического качества, но и обладающее строго определенными, воспроизводимыми физико-химическими и технологическими характеристиками [6]. Совокупность характери-

стик, обеспечивающих эффективное протекание основных стадий сыроделия (свертывания, обработки сгустка, созревания), принято обозначать сводным термином «сыропригодность» [7].

Сыропригодность молока представляет собой его способность под воздействием сычужного фермента или кислоты формировать в оптимальные сроки плотный, однородный, упругий сгусток с гладкой блестящей поверхностью на изломе, эффективно и предсказуемо отделять сыворотку в процессе синерезиса, а также максимально удерживать жир и белок в сырной массе, обеспечивая высокий выход продукта [8, 9].

Сыропригодность молока представляет собой комплекс качественных и количественных характеристик,



Источники: iStockphoto.com, Getty Images

технологических и гигиенических свойств, обеспечивающих при совокупном воздействии сычужного фермента и молочнокислых бактерий интенсивное протекание биохимических процессов с образованием плотного белкового геля. Согласно отраслевому стандарту СТО ВНИИМС 019-2019, молоко, предназначенное для сыроделия, должно соответствовать следующим физико-химическим показателям: плотность не ниже 10,27 °А, массовая доля общего белка – не менее 2,8 %, жира – не менее 3,1 %, титруемая кислотность в пределах 16–19 °Т, группа чистоты не ниже I. Ключевым критерием сыропригодности является способность молока к коагуляции (MCP – Milk coagulation properties), оцениваемая инструментальными методами, среди которых мировое признание получил анализатор Formagraph (Foss Electric, Дания), регистрирующий реологические изменения в процессе гелеобразования и позволяющий определить стандартизованные параметры: время коагуляции (RCT, мин), скорость упрочнения сгустка ( $k_{20}$ , мин) и его плотность через 30 мин ( $a_{30}$ , мм) [44]. Другим важным аспектом сыропригодности является способность молока служить оптимальной питательной средой для развития специфической микрофлоры заквасок, что определяет вкусоароматический профиль и рисунок сыра [10]. От этих свойств напрямую зависят качественные показатели производства, выход готового продукта с единицы сырья, его органолептические свойства (вкус, консистенция, рисунок), стабильность технологического процесса [11].

Формирование сыропригодности представляет собой сложный динамический результат

воздействия на лактирующий организм животного множества взаимосвязанных и часто конкурирующих факторов [9, 12], которые в научной литературе традиционно разделяют на две фундаментальные группы.

К первой группе относятся генотипические (генетические) факторы. Это внутренние, наследственно обусловленные и относительно стабильные особенности организма. К ним, прежде всего, относят вид и породу животного [13, 14], а также генетически закрепленные варианты (аллели) основных белков молока (казеинов,  $\beta$ -лактоглобулина), которые определяют потенциально возможный уровень, скорость и характер биосинтеза основных компонентов молока (жира, белка, лактозы) в секреторном эпителии альвеол вымени [15]. Генотип, по сути, определяет потенциальные границы качества и закладывает конкретную молекулярно-биохимическую программу формирования молока [16].

Ко второй группе факторов относятся паратипические (фенотипические, средовые). Это вся совокупность внешних условий, в которых содержится и реализует свой продуктивный потенциал животное. К ним относятся: система кормления и качество кормов (баланс нутриентов, структура, наличие антипитательных веществ) [17], условия содержания (микроклимат, плотность размещения, уровень стресса), качество ветеринарного обслуживания стада (наличие и распространенность маститов, метаболических расстройств, эффективность ветеринарного сопровождения) и сезонно-физиологические изменения (стадия лактации, сезон года, связанный с кормовой базой и климатическими стрессами) [18]. Эти факторы определяют, насколько полно, стабильно и качественно реализуется заложенный генетический потенциал [19]. Они могут как раскрыть его, так и существенно нивелировать, вызывая глубокие изменения в молоке.

Таким образом, для двух групп факторов характерна сложная взаимозависимость [20]. Генетика создает потенциал продуктивности и качественных характеристик, а то, как он раскроется, зависит от кормления, ухода и здоровья животного [21]. Высокое качество сыра начинается с молока, которое можно получить только при сочетании хорошей генетики животных и грамотной работы с ними.

Актуальность всестороннего исследования влияния обоих групп факторов в их взаимосвязи

обусловлена устойчивым потребительским спросом на высококачественные сыры и жесткой конкуренцией на внутреннем и внешнем рынках.

Нестабильность сыропригодности поступающего на заводы молока, проявляющаяся в колебаниях времени свертывания, плотности сгустка и выхода, приводит к технологическим сбоям [6], необходимости постоянной ручной корректировки процессов, повышению брака продукции, колебаниям выхода и, как следствие, к прямым и значительным экономическим потерям, которые могут достигать 15–20 % от потенциальной прибыли [22, 23]. Поэтому глубокое понимание механизмов влияния каждого фактора и их взаимодействия является критически важным как для селекционеров, зоотехников и ветеринаров, работающих над получением технологически правильного сырья, так и для технологов молочного производства, вынужденных адаптировать процесс под переменные свойства поступающего сырья.

**Целью данной аналитической работы** являлся комплексный анализ влияния генетических и паратипических факторов на ключевые показатели сыропригодности молока, а также обобщение практических мер по управлению этими факторами для обеспечения сыродельной промышленности стабильным, стандартизированным и технологически совершенным сырьем.

### Объекты и методы исследования

Данный аналитический обзор подготовлен на основе системного анализа научных публикаций, индексируемых в международных базах данных (Scopus, Web of Science Core Collection) и российской базе РИНЦ за период 2015–2025

гг. Поиск проводился с использованием ключевых слов и их комбинаций: сыропригодность молока, генетический полиморфизм казеинов, паратипические факторы, экспрессия генов, эпигенетическая регуляция, субклинический мастит, сычужное свертывание, сезонность лактации, управление качеством сырья. Предпочтение отдавалось оригинальным исследованиям, мета-анализам и фундаментальным обзорам.

### Результаты и их обсуждение

**Генетические факторы: фундамент и основа молочного потенциала.** Фундаментальные физико-химические и технологические свойства молока изначально обусловлены генетическим аппаратом животного, который выступает как базовый и постоянный фактор [13, 20]. Он определяет биологический максимум возможностей, задавая количественные и качественные рамки для синтеза компонентов [24]. Паратипические факторы влияют лишь на степень реализации этого внутреннего потенциала, но не способны преодолеть его генетически установленные границы [25]. Этот процесс реализуется через сложные многоступенчатые системы регуляции. Сюда входят метаболические пути (биохимические цепочки реакций) и эпигенетические механизмы (внешние факторы, влияющие на активность генов) [26]. Именно они управляют тем, насколько активно работают гены, ответственные за производство белков, жиров и углеводов в клетках, вырабатывающих молоко. Итогом является формирование исходного сырья для последующей технологической обработки [27].

Наиболее целостным и практически значимым проявлением совокупного генетического потенциала является порода животного [28, 29]. Исторически сложилось, что различные породы крупного рогатого скота селекционировались для решения специфических хозяйственных задач (мясное, молочное, комбинированное направление) [30], что закрепились в их генофонде и фенотипически выражается в существенных, статистически достоверных различиях по составу и технологическим свойствам секретлируемого молока [31]. Эти различия носят не случайный, а системный характер [13, 20].

Классическими примерами пород «сырного» (или комбинированного) направления служат джерсейская, швицкая, симментальская, а также адаптированные отечественные костромская и ярославская



Источник изображения: freerik.com

породы [32–34]. Термин «сырные породы» не является официальным в зоотехнической классификации, но используется в профессиональной среде для обозначения пород крупного рогатого скота, молоко которых благодаря высоким показателям жирности, содержания белка и казеина особенно пригодно для производства сыра. Селекционная работа с ними на протяжении многих поколений была ориентирована не только на молочную продуктивность, но и в значительной степени на технологическое качество молока, определяемое в конечном итоге выходом готового продукта [16].

При селекции пород, пригодных для сыроделия, ключевое внимание уделялось содержанию белка, в особенности казеина, как определяющему фактору сыропригодности молока. Казеин формирует структурную основу сырного сгустка, и его концентрация напрямую коррелирует с выходом готовой продукции [7, 17]. Генетически детерминированное содержание белка (обычно более 3,2–3,5 %) выступало приоритетным направлением селекции. Массовая доля жира (часто в диапазоне 4,0–5,5 % и выше) [35, 36] имеет второстепенное, но значимое значение: она влияет на органолептические свойства сыра (вкус, аромат) и его текстуру (пластичность, отсутствие крошливости). При этом содержание жира не определяет выход продукта, поскольку в сыроделии молоко нормализуют по жиру в соответствии с требованиями к конкретному сорту сыра. Массовая доля сухих веществ представляет собой интегральный показатель, включающий белок, жир, лактозу и минеральные соли. Вклад этих компонентов в технологические процессы различен: лактоза влияет на брожение, соли – на буферную емкость и сычужную свертываемость. Поэтому прямая связь массовой доли сухих веществ с выходом сыра отсутствует [17, 35, 36]. У таких пород статистически значимо чаще встречаются генетические варианты (аллели) казеинов, ассоциированные с улучшенными технологическими свойствами [29]. Например, высокая частота аллеля *k*-казеина В, способствующего формированию более мелких и плотных мицелл казеина. Это приводит к образованию более прочного и быстро формирующегося сгустка с лучшим отделением сыворотки [37]. Молоко коров этих пород обладает высокой сыропригодностью: оно естественным образом предрасположено к эффективному сычужному свертыванию, обеспечивает высокий выход и часто не требует существенной технологической коррекции на заводе [38, 39]. Однако необходимо подчеркнуть, что высокий

генетический потенциал коров джерсейской породы служит лишь основой для получения молока с высокими технологическими свойствами. Полная реализация потенциала возможна только при оптимальных условиях кормления и содержания. При их нарушении (например, при ацидозе или дефиците энергии) молоко теряет ключевые преимущества для сыроделия: снижается скорость сычужного свертывания, ухудшается качество сгустка (становится рыхлым и слабым), что приводит к снижению выхода сыра и ухудшению его консистенции.

Представителем породы молочного (интенсивного) направления продуктивности является черно-пестрая голштинизированная порода, доминирующая благодаря своей беспрецедентной продуктивности (удою) [28, 40]. Однако вектор ее селекции на протяжении десятилетий был направлен в первую очередь на увеличение объемов надоя, что, согласно общебиологической закономерности и существованию отрицательных генетических корреляций, часто сопряжено со снижением концентрации основных сухих веществ в молоке – в первую очередь массовой доли белка (на 0,1–0,3 %) и жира (на 0,2–0,4 %) [15].

Для молока от коров пород, не специализированных для сыроделия, типична более низкая массовая доля жира (3,4–3,8 %) и белка (3,0–3,2 %) по сравнению с молоком от коров пород с высоким технологическим потенциалом для сыроделия, такими как джерсейская, симментальская и айрширская. У джерсейских коров жирность молока может достигать 5,8–6 % и более, а содержание белка – 3,8–4 %. Симментальская порода характеризуется жирностью 3,7–4,1 % и содержанием белка 3,2–3,4 %. Айрширская порода отличается жирностью 4,2–4,3 % и содержанием белка 3,4–3,5 %. Низкое соотношение белок/жир может потребовать процедуры стандартизации для достижения оптимального баланса компонентов, требуемого рецептурой конкретного сыра [16].

В популяции голштинских коров исторически выше распространенность аллелей казеинов (например, *k*-казеина А), связанных с более медленным образованием сгустка и формированием менее плотной структуры. Это приводит к увеличению потерь белка в сыворотку [41–43]. Использование такого молока в сыроделии не исключено и широко практикуется, но оно зачастую требует активной технологической компенсации и коррекции режимов. Это может включать стандартизацию по содер-

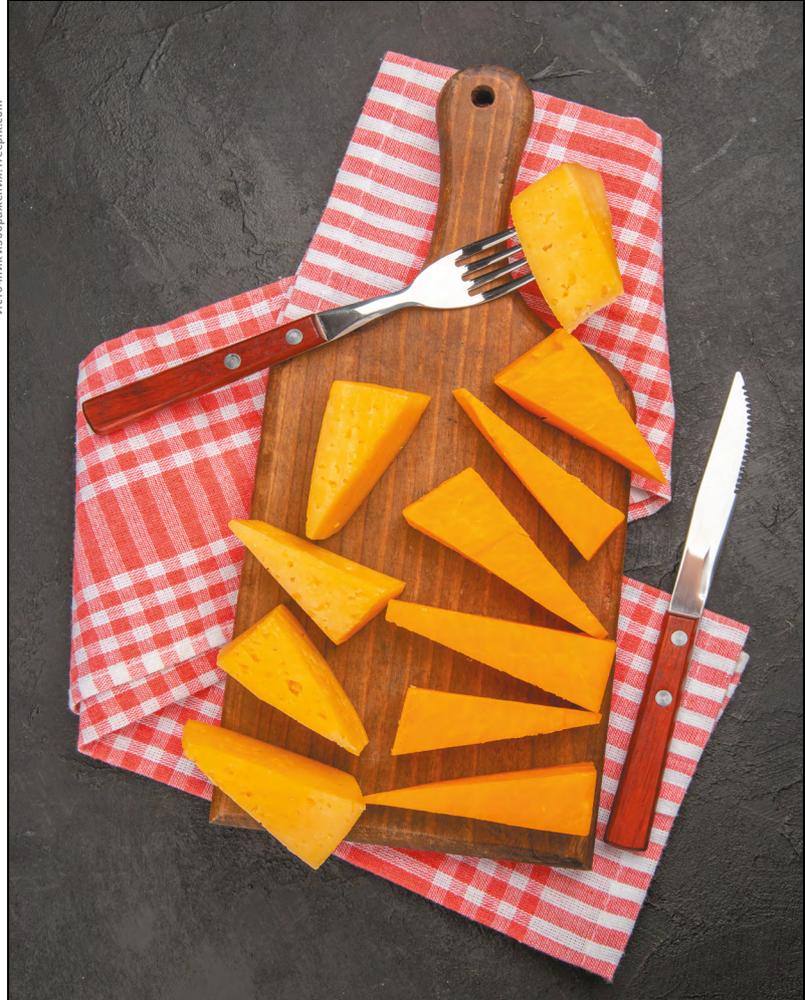
жанию белка и жира, часто с применением методов мембранной фильтрации (ультрафильтрации) для концентрирования сухих веществ, что увеличивает затраты; использование технологических добавок (хлорид кальция для улучшения свертываемости, нитраты для подавления посторонней микрофлоры); более точный и строгий контроль параметров свертывания (рН, температура, доза фермента) и созревания молока [14, 45].

Следовательно, выбор породы является стратегическим решением, которое определяет исходное качество молока-сырья и задает направление необходимых технологических усилий [31]. Породы сырного направления продуктивности предоставляют технологическое преимущество, минимизируя затраты на последующую корректировку молочного сырья. Работа с высокопродуктивными молочными породами требует переноса части усилий по оптимизации сыропригодности на последующие технологические стадии переработки, что может увеличивать сложность и себестоимость производства [14].

Современная селекция активно пытается снять это противоречие, ведя отбор внутри молочных пород (включая голштинскую) не только по удою, но и по содержанию жира и белка (признаки с высокой наследуемостью), а также по генотипам казеинов, чтобы совместить высокую продуктивность с хорошими технологическими свойствами молока [38, 46]. На глубинном, молекулярном уровне технологические свойства молока детерминированы полиморфизмом (генетическим разнообразием) конкретных генов, кодирующих синтез основных белков молока и ключевых ферментов метаболизма [27]. Это явление представляет собой наличие в популяции нескольких альтернативных форм одного гена (аллелей), которые определяют небольшие, но функционально значимые различия в аминокислотной последовательности конечного белка [42]. Эти, казалось бы, незначительные замены способны радикально менять третичную структуру, заряд, гидрофобность и, следовательно, физико-химическое поведение белка в процессе переработки, формируя непрерывную причинно-следственную цепь от генетического кода до органолептических свойств сыра [47].

Наиболее изученными и технологически значимыми являются гены казеиновой фракции (CSN1S1, CSN2, CSN3), сывороточного белка  $\beta$ -лактоглобулина (LGB) и фермента синтеза жира DGAT1 [48–50]. Данный

Источник изображения: freerik.com



полиморфизм представляет собой мощный инструмент для предсказания и управления технологическим поведением сырья при производстве конкретных молочных продуктов, прежде всего сыра [27, 51, 52].

Ген CSN3 ( $\kappa$ -казеин) играет критическую роль в стабилизации казеиновых мицелл и является субстратом для молокосвертывающего ферментного препарата в процессе сычужного свертывания [53]. Ген локализован на 6-й хромосоме. Наиболее важны с технологической точки зрения аллели А и В [37]. Различие обусловлено двумя однонуклеотидными заменами в экзоне 4, приводящими к аминокислотным субституциям: Thr136Ile и Asp148Ala [54]. Замена заряженной аспарагиновой кислоты на нейтральный аланин в позиции 148 изменяет электростатический заряд С-концевого (гликомакропептидного) домена белка, повышая его гидрофобность [48, 51].

$\kappa$ -казеин выполняет критическую стабилизирующую функцию, располагаясь на поверхности мицеллы. Его гидрофильный «хвост» (гликомакропептид) создает электростатический и стерический барьер, предотвращая слипание мицелл [53]. Аллель В продуцирует белок с повышенной гидрофобностью, что приводит к формированию мицелл

меньшего среднего диаметра (на 10–15 %), но большего количества, увеличивая общую площадь поверхности раздела фаз. Более гидрофобная конформация аллеля В делает сайт атаки сычужного фермента (связь Phe105-Met106) более доступным [53, 55]. В результате молоко генотипа ВВ или АВ характеризуется статистически значимым сокращением времени сычужного свертывания на 15–25 %, образованием более плотного, механически прочного сгустка, более быстрым и полным синерезисом [51]. Происходит повышение выхода сыра на 5–10 % благодаря минимизации потерь жира и казеиновой пыли в сыворотку. Для сыродела это означает экономию сырья, стабильность процесса и более предсказуемый результат.

Ген CSN2 ( $\beta$ -казеин) является основным структурным компонентом мицеллы, обладает высокой способностью к самосборке и связыванию кальция [54]. Наиболее значимый с технологической и диетологической точек зрения полиморфизм А1/А2 [37] обусловлен заменой в позиции 67: пролина (Pro67) в варианте А2 на гистидин (His67) в варианте А1. Пролин, будучи аминокислотой, создает изгиб пептидной цепи и стабилизирует вторичную структуру белка [48, 51, 56]. Аллель А1 формирует более лабильную структуру, склонную к протеолизу

и диссоциации из мицелл в сыворотку при длительном охлаждении молока, в отличие от стабильного варианта А2 [57]. Это влияет на размер и стабильность мицеллярной структуры. Молоко с преобладанием аллеля А2 демонстрирует повышенную термостабильность и меньшую склонность к образованию горьких пептидов при хранении и созревании.  $\beta$ -казеин А2 формирует более эластичные и гибкие связи в сычужном сгустке, обеспечивая пластичную, не крошливую консистенцию сыра и лучшее влагоудержание [37, 55]. Диетологический аспект, связанный с потенциальным образованием биоактивного опиоидного пептида ВСМ-7 из варианта А1 в ходе пищеварения, создал отдельный рыночный сегмент А2-молока, что добавило коммерческой ценности данному генетическому признаку [56, 58].

Ген CSN1S1 ( $\alpha$ s1-казеин) критически важен для иницирования и поддержания структуры мицелл, являясь центром нуклеации и связывая значительное количество коллоидного кальция [54]. Существует сложный полиморфизм, в значительной степени влияющий на количество синтезируемого белка (количественный полиморфизм) [59]. Аллели условно делятся на «сильные» (В, С), обеспечивающие высокий уровень экспрессии, и «слабые» (F, O), последние связаны со сниженной экспрессией гена или синтезом укороченного, не функционального белка [27, 48, 51].

В синтезе молока  $\alpha$ s1-казеин является основным архитектурным белком, обеспечивающим каркас мицеллы через образование фосфосерных кластеров, связывающих ионы кальция. Его дефицит нарушает процесс сборки мицелл [55]. Низкий уровень  $\alpha$ s1-казеина имеет негативные последствия для сыроделия. Формируется рыхлый, слабый, плохо отделяющий сыворотку сгусток с резко увеличенным временем свертывания. Технологические потери жира и белка в сыворотку возрастают, снижая выход на 20–30 % [54]. Сыр из такого молока приобретает дефектную, мажущуюся, пастообразную консистенцию. Молоко от коров-гомозигот по «слабым» аллелям (например, FF) часто технологически бракуется или направляется на производство продуктов, не требующих коагуляции [56].

Ген LGB ( $\beta$ -лактоглобулин) относится к основному термолабильному сывороточному белку, влияющему на общие коллоидные свойства молока и его поведение при тепловой обработке [60, 61]. Полиморфизм А/В обусловлен



заменами Asp64Gly и Val118Ala. Замена кислого остатка аспарагиновой кислоты на нейтральный глицин в позиции 64 меняет электростатические и димеризационные свойства белка [62].

В синтезе молока  $\beta$ -лактоглобулин выполняет функцию транспортера гидрофобных молекул (ретинол, жирные кислоты) [59]. Аллель В кодирует структурно более стабильный белок и статистически ассоциирован с более высокой общей эффективностью синтеза белка в вымени. Генотипы ВВ/АВ коррелируют с повышенным общим содержанием белка и, что важно, казеина в молоке, что напрямую увеличивает выход сыра. Белок, кодируемый аллелем В, отличается повышенной термостабильностью: при пастеризации степень его денатурации снижается по сравнению с другими вариантами, что способствует лучшей влагоудерживающей способности сырной массы [63]. Кроме того, этот белок служит важным источником аминокислот для заквасочной микрофлоры в начале созревания, косвенно влияя на биохимические процессы формирования вкуса и аромата [50].

Ген DGAT1 (диацилглицерол-ацилтрансфераза 1) – мембраносвязанный фермент конечного этапа синтеза триглицеридов (жира) в клетках вымени. Функциональный полиморфизм K232A (Lys232Ala) представлен в экзоне 8. Замена лизина на аланин снижает ферментативную активность белка вдвое [64, 65].

Фермент DGAT1 катализирует перенос ацильного остатка на диацилглицерол, определяя эффективность включения жирных кислот, поступающих из крови или синтезированных *de novo*, в триглицериды молочного жира [60, 66]. Аллель К (лизин) приводит к более быстрому включению в триглицериды насыщенных жирных кислот с длинной цепью (например, пальмитиновой,  $C_{16:0}$ ), синтезируемых в самой молочной железе [67]. Аллель К ассоциирован с повышенным содержанием жира в молоке и более высокой долей твердых насыщенных жирных кислот в его составе. Более твердый, с повышенной температурой плавления жир способствует формированию плотной, не мажущейся консистенции сыра, лучшему удержанию жировых шариков в казеиновой матрице сгустка, улучшению органолептических свойств готового продукта. Косвенно это может способствовать оптимизации выхода сыра за счет снижения потерь жира в сыворотку, хотя основной вклад в выход

вносит содержание белка [60, 67]. Хотя жир и продукты его липолитического расщепления вносят значительный вклад в ароматический букет сыра, основным источником базовых вкусовых ощущений являются продукты протеолиза – аминокислоты и пептиды, образующиеся при распаде белков. Количество и состав жира влияют на текстуру, консистенцию и общее вкусовое восприятие продукта, дополняя вкусовой профиль, сформированный протеолитическими процессами [3, 68].

Помимо генов, непосредственно определяющих состав молока, критическое значение для обеспечения его стабильной сыропригодности имеют генетические маркеры устойчивости к маститу [13]. Воспалительный процесс в вымени (мастит) радикально и быстро меняет биохимию молока, делая его часто непригодным для сыроделия, причем даже субклинические формы наносят существенный ущерб [69].

К генам врожденного (неспецифического) иммунитета относятся CD14, TLR4, CXCR1. Определенные аллели этих генов, кодирующих рецепторы распознавания патоген-ассоциированных молекул и хемокиновые рецепторы, ассоциированы с более эффективным и быстрым первичным нейтрофильным ответом на инфекцию [70], что способствует поддержанию низкого уровня соматических клеток [71, 72].



Ген BoLA-DRB3 отвечает за адаптивный иммунитет. Этот ген, кодирующий бета-цепь белков главного комплекса гистосовместимости II класса (MHC II), является центральным для презентации антигенов лимфоцитам [73, 74]. Его экстремальный полиморфизм определяет эффективность распознавания конкретных антигенов патогенных бактерий (например, *Staphylococcus aureus*). Протекторные аллели (BoLA-DRB3.2\23, 11, 16) ассоциированы с низким уровнем соматических клеток (50–150 тыс./мл) и стабильным биохимическим составом молока. Аллели риска (BoLA-DRB3.2\22, 8) коррелируют с хроническим субклиническим маститом и стабильно высоким уровнем соматических клеток (> 200–250 тыс./мл) [75, 76].

Очевидно влияние повышенного уровня соматических клеток на сыропригодность молока. Высокий уровень соматических клеток является индикатором и одновременно причиной глубоких негативных изменений в молоке из-за массового выброса содержимого соматических клеток (нейтрофилов) – ферментов и медиаторов воспаления [77, 78].

Резкое возрастание активности фермента плазмина (и активаторов плазминогена) в ходе протеолиза вызывает селективный гидролиз  $\beta$ -казеина и, в меньшей степени,  $\alpha$ s-казеинов. Последствиями этого являются фрагментация мицелл, снижение выхода, ухудшение свертываемости (рыхлый, дряблый сгусток) и появление горьких пептидов в созревающем сыре [79]. Активация липаз (в том числе липопротеинлипазы) в процессе липолиза

ведет к гидролизу триглицеридов молочного жира и накоплению свободных жирных кислот, особенно низкомолекулярных – масляной и капроновой. Результатом этого является прогоркание, салостый привкус и ухудшение текстуры сыра [80]. При нарушении солевого баланса и pH повышается проницаемость гемато-молочного барьера. Это ведет к изменению ионного состава: увеличению концентрации натрия и хлора и снижению уровня ионов кальция, калия и фосфатов. Одновременно происходит повышение pH молока, что критически замедляет сычужное свертывание, т. к. оптимальная активность фермента химозина наблюдается в более кислой среде [81].

В таблице 1 представлено влияние некоторых генетических факторов на технологические параметры молока и последствия его использования в сыроделии.

Внутрипородная генетическая изменчивость является фундаментальным фактором, объясняющим существование значительных различий в сыропригодности молока между отдельными коровами одной породы, содержащимися в идентичных паратипических условиях [16, 82]. Эти межиндивидуальные различия имеют строгую наследственную природу и определяются уникальной, неповторимой комбинацией аллелей множества генов, которую каждое животное наследует от родителей [25, 83].

Характеристики молока, определяющие его сыропригодность (содержание жира, белка, казеина,

**Таблица 1. Взаимосвязь генотипа по локусам молочной продуктивности с качеством сырья и его сыропригодностью**

Генетический маркер (благоприятный аллель)	Влияние на состав / свойства молока	Прямое технологическое последствие для сыроделия
CSN3 B	Меньший размер мицелл, более доступный сайт для химозина	Сокращение времени свертывания на 15–25 %, более плотный сгусток, лучший синерезис, + 5–10 % к выходу
CSN2 A2	Повышенная стабильность мицелл при охлаждении, устойчивость к протеолизу	Более эластичный сгусток, лучшая консистенция сыра, снижение риска горечи
CSN1S1 «сильные» (B,C)	Высокий уровень синтеза $\alpha$ s1-казеина, стабильные мицеллы	Нормальное быстрое свертывание, высокий выход, правильная консистенция
LGB B	Повышенное общее содержание белка и казеина, термостабильность	Повышенный выход сыра, сохранение свойств при термической обработке
DGAT1 K	Повышенное содержание жира, больше твердых насыщенных жирных кислот	Повышенный выход, плотная не мажущая консистенция сыра, насыщенный вкус
Благоприятные аллели генов устойчивости к маститу (например, BoLA-DRB3.2*23)	Низкий и стабильный уровень соматических клеток (< 150 тыс./мл)	Сохранение нативных свойств белка и жира, стабильное время свертывания, максимальный выход, отсутствие пороков

состав жирных кислот, минерализация), являются количественными признаками [11, 84]. Их формирование контролируется не одним, а множеством генов (полигенами), каждый из которых вносит небольшой вклад в конечный результат. Комбинация этих генов у каждой особи уникальна, что и создает непрерывный спектр варьирования признаков в популяции [85]. В качестве примеров, на основании выше представленной информации, рассмотрим проявление индивидуальной наследственности в контексте сыроделия.

В стаде голштинской породы, условно считающейся «нетипичной» для сыроделия, неизбежно присутствуют животные с кардинально разными генотипами по казеинам. Коровы с генотипом CSN3 BB и CSN2 A2A2 будут стабильно производить молоко с мицеллами меньшего размера, обеспечивающее быстрое свертывание (например, по данным некоторых исследований [54, 82], различия во времени свертывания между животными с разными генотипами могут достигать 30–40 %, что в абсолютных цифрах для наглядности можно представить как 15 мин. против 25 у сородичей) и формирование плотного, режущегося как масло сгустка. Их молоко по ключевым технологическим параметрам может приближаться к молоку коров специализированных пород с высоким технологическим потенциалом для сыроделия, давая выход сыра «Российского» на уровне 11–12 % против 9–10 % у однопородниц с генотипом AA. Коровы с генотипом CSN3 AA и, особенно, CSN1S1 FF будут давать молоко, которое на заводе потребует обязательной коррекции технологии: увеличения дозы  $\text{CaCl}_2$ , снижения температуры свертывания, применения более мягких режимов обработки сгустка. Выход сыра из их молока будет закономерно ниже, а консистенция может быть недостаточно пластичной. Две коровы-однопородницы, получающие одинаковый рацион, но с разными генотипами по DGAT1, дадут принципиально разное по технологическим свойствам молоко. Носитель аллеля K будет продуцировать молоко с жирностью 4,2 % с повышенной долей пальмитиновой кислоты ( $\text{C}_{16:0}$ ). Сыр из такого молока будет иметь плотную, слегка упругую, не липкую консистенцию, хорошо держать форму. Молоко носителя генотипа AA (гомозигота) может иметь жирность 3,6 % с большей долей ненасыщенных жирных кислот. Жир в таком сыре будет более мягким, возможна склонность к «мазанию» при перезревании, чуть менее выраженный сливочный вкус.

В одном стаде, при равных условиях содержания, могут соседствовать резистентные и восприимчивые животные к маститу. Устойчивые к маститу особи с благоприятным гаплотипом по генам иммунного ответа и протекторными аллелями BoLA-DRB3.2\23. Их молоко даже в условиях производственного стресса (жара, смена корма) сохраняет низкий уровень ССК (80–120 тыс./мл) и стабильный состав, обеспечивая предсказуемое сычужное свертывание. Особи с аллелями риска, у которых мастит и связанное с ним ухудшение сыропригодности (рост активности плазмينا, повышение pH, изменение вкуса), будут возникать с большей вероятностью, требуя постоянного ветеринарного контроля и частого исключения их молока из сыропригодного потока.

В практическом значении возможно формирование «элитных» сыропригодных линий и семейств. Внутри любой породы можно и нужно выделять не просто высокопродуктивных, а технологически ценных животных. На основе оценки племенной ценности или, что более современно и точно, геномной оценки по комплексу признаков (удой + % белка + % жира + аллельный статус по казеинам + показатель устойчивости к маститу) отбираются быки-производители и коровы-матки для создания специализированных генетических ресурсов, ориентированных на поставку сырья для сыроделия.

На современном этапе в животноводстве с помощью доступного геномного тестирования телят или даже эмбрионов можно с высокой точностью прогнозировать будущее технологическое качество их молока. Это позволяет перейти от экстенсивного подхода в животноводстве к прецизионному [24]. Например, создать группу для элитного сыроделия состоящую из животных с идеальным профилем (BB / A2A2 / сильные аллели CSN1S1 / KK / протекторные BoLA). Их молоко может поставляться по долгосрочным контрактам на сыродельные заводы, производящие сыры с защищенным наименованием, и оплачиваться по повышенной цене. Или стадо для стандартного сыропригодного молока, где коровы с хорошими средними показателями (AB / A1A2 и т. д.), а молоко составляет основной объем сырья для массового производства. Отдельно поголовье для товарного (питьевого) молока или продуктов глубокой переработки, в котором содержатся животные с высоким удоем, но неоптимальным для сыра генотипом (AA / A1A1, слабые аллели). Их молоко направляется на пастеризацию, стерилизацию или производство восстановленных продуктов.

Индивидуальный генетический потенциал напрямую конвертируется в деньги на уровне всего предприятия. Повышение выхода сыра на 8–10 % от молока коров пород с высоким технологическим потенциалом для сыроделия дает значительную добавленную прибыль, которая окупает затраты на геномное тестирование. Снижение потерь из-за брака (пороки сыра от молока с высоким содержанием соматических клеток) сокращает прямые убытки. Возможность продажи сыра по премиальной цене как «молоко с гарантированными технологическими свойствами» укрепляет рыночные позиции животноводческого предприятия.

#### **Эпигенетические и молекулярно-регуляторные механизмы влияния паратипических факторов.**

Раскрытие генетического потенциала, описанного в предыдущем разделе, не происходит само по себе. Оно всецело зависит от условий, в которых находится животное. Если генотип является постоянной совокупностью наследственной информации, то экспрессия генов представляет собой регулируемый процесс ее реализации [86], определяемый конкретными клеточными и средовыми условиями [24]. Паратипические факторы (кормление, стресс, здоровье) оказывают глубокое влияние на молочную продуктивность и состав молока именно через тонкую регуляцию активности генов в секреторных клетках вымени [17, 18]. Механизм такого влияния основан на сложной регуляторной сети. Сигнальные пути, транскрипционные факторы и эпигенетическая модификация хроматина согласованно модулируют активность генов в клетках молочной железы,

подстраивая синтез компонентов под текущие ресурсы и внешние условия. Именно эта регулируемая активность и определяет итоговые технологические параметры сырья [28].

Синтез молочных белков, в особенности казеинов, является высоко энергозатратным процессом, требующим не только наличия строительных блоков – аминокислот, но и скоординированной работы целых генетических программ [87]. Достаточное поступление с кровью незаменимых аминокислот (метионина, лизина, лейцина) служит не только субстратом, но и сигналом [20]. Например, аминокислоты активируют внутриклеточный сигнальный путь mTOR (мишень рапамина у млекопитающих), который является ключевым регулятором трансляции мРНК и общего синтеза белка [88]. Активация mTOR усиливает считывание генов казеинов, увеличивая их продукцию [89]. Дефицит же аминокислот или энергии подавляет этот путь, приводя к снижению синтеза казеина даже при наличии «сильных» аллелей генов CSN1S1 или CSN2.

Инсулин, инсулиноподобный фактор роста-1 (IGF-1) и пролактин, концентрация которых зависит от уровня кормления и физиологического состояния, также активируют внутриклеточные сигнальные пути (PI3K/Akt, JAK/STAT), напрямую влияющие на транскрипцию генов молочных белков [90]. Стресс, сопровождающийся выбросом кортизола, оказывает противоположное, ингибирующее действие на эти сигнальные пути, что объясняет снижение белковости молока при нарушении условий содержания [91].



Состав жирных кислот в молоке является одним из наиболее лабильных показателей [92], напрямую отражающих влияние рациона через изменение экспрессии генов липогенеза. При скормливаниях коровам рациона, богатого структурной клетчаткой, в рубце образуется ацетат, который в клетках вымени конвертируется в ацетил-КоА – основной предшественник для синтеза жирных кислот [93]. Этот процесс стимулирует экспрессию кластера генов, кодирующих ферменты липогенеза, такие как ацетил-КоА-карбоксилаза (ACACA) и синтаза жирных кислот (FASN) [86]. Напротив, рацион с избытком пищевых жиров или крахмала может подавлять эту эндогенную систему синтеза, смещая состав жира в сторону длинноцепочечных жирных кислот, поступающих из крови, что делает жир более мягким [94]. Экспрессия гена DGAT1 сама находится под регуляторным контролем. Факторы, связанные с энергетическим балансом (например, отрицательный энергетический баланс в ранней лактации), могут снижать активность этого гена, ограничивая эффективность сборки триглицеридов, что потенциально снижает общую жирность молока независимо от генетического варианта (аллеля К или А).

Острый и хронический стресс, как и воспаление вымени, запускают мощные транскрипционные программы, которые кардинально меняют биохимический состав молока [95]. При мастите происходит массивная активация провоспалительных генов цитокинов (ФНО- $\alpha$ , ИЛ-1 $\beta$ , ИЛ-6) и хемокинов в ткани вымени. Эта воспалительная сигнализация напрямую подавляет экспрессию генов казеинов через ингибирование ключевых транскрипционных факторов (например, Stat5) [96]. Одновременно резко возрастает экспрессия генов сывороточных белков (сывороточного альбумина, иммуноглобулинов) из-за повышения проницаемости гемато-молочного барьера. Этот молекулярный сдвиг объясняет падение соотношения казеин/сывороточные белки. Воспаление стимулирует выработку плазминогена и его активаторов, а также различных липаз в соматических клетках. Повышенная транскрипция генов этих ферментов ведет к их накоплению в молоке и последующей деградации белка и жира [97].

Эпигенетические механизмы являются своеобразным мостом между средой и геномом. Долгосрочное влияние паратипических факторов может фиксироваться через эпигенетические модификации – наследуемые изменения активности генов без изменения самой последовательности ДНК.

Это механизмы метилирования ДНК, модификации гистонов и действия некодирующих РНК.

Уровень кормления и рацион коровы во время стельности может влиять на эпигенетический статус генов, связанных с молочной продуктивностью, у ее потомства. Например, в исследованиях на жвачных животных было показано, что уровень метилирования ДНК в промоторных областях генов, связанных с ростом и метаболизмом (в том числе IGF2), у потомства может зависеть от обеспеченности материнского организма метионином и фолатами в период сухостоя. Недостаток этих метильных доноров в рационе стельной коровы способен приводить к стойким эпигенетическим модификациям, которые впоследствии могут влиять на экспрессию генов молочной продуктивности у родившегося потомства, модулируя ее пожизненную способность к синтезу компонентов молока [98].



Это означает, что условия содержания матери могут опосредованно влиять на будущую сыропригодность молока ее телок. Также сезонные колебания в освещенности и кормлении способны вызывать обратимые эпигенетические модификации. Они выполняют тонкую настройку метаболизма животного, что непосредственно отражается на составе молока. Это объясняет не только количественные, но и качественные сдвиги в компонентах молока в разное время года.

В таблице 2 представлены основные паратипические факторы, их молекулярные мишени и последствия для сыропригодности молока.

Таким образом, паратипические факторы выступают в роли мощных регуляторов и модуляторов генетической программы. Они не изменяют первичную структуру генов, но определяют, какие гены, в какое время и с какой интенсивностью будут работать в клетках молочной железы [29]. Понимание ключевых механизмов, которые охватывают весь путь от активации сигнальных путей аминокислотами до подавления синтеза казеинов воспалительными цитокинами, позволяет перевести управление сыропригодностью молока в область точного и научно обоснованного контроля [20, 86]. Это позволяет целенаправленно использовать кормление, оптимизацию условий содержания и ветеринарный контроль не просто для поддержания продуктивности, а для тонкой настройки экспрессии генов в сторону получения молока с идеальными для сыроделия свойствами [24].

С учетом описанных молекулярных механизмов, практическое управление паратипическими факторами становится осмысленным инструментом для реализации и защиты генетического потенциала. Данная группа факторов, в отличие от генетических, является динамичной и управляемой в кратко- и среднесрочной перспективе [42]. Их воздействие может носить как компенсаторный характер (улучшение показателей молока со средним генетическим потенциалом), так и разрушительный (нивелирование преимуществ отличной генетики) [96, 99]. Управление паратипическими факторами – это ежедневная работа по обеспечению стабильности сырья.

**Паратипические факторы в формировании сыропригодности молочного сырья.** Кормление коров является наиболее мощным и оперативно регулируемым инструментом воздействия на состав и свойства молока, а значит, и на его технологические характеристики. В отличие от генетики, которую нельзя изменить у взрослого животного, рацион позволяет корректировать параметры сырья в течение нескольких дней или недель [12]. Цель стратегии кормления в сыродельном молочном животноводстве – не просто поддержание высокой продуктивности, а стабилизация биохимического состава молока для гарантированного получения плотного сычужного сгустка и высокого выхода качественного сыра. Любой дисбаланс в кормлении немедленно влияет на составные части молока [17, 100].

**Таблица 2. Молекулярные механизмы влияния паратипических факторов на сыропригодность молока**

Паратипический фактор	Ключевые молекулярные мишени и пути	Влияние на сыропригодность (через изменение экспрессии / активности)
Дефицит энергии / аминокислот	Подавление пути mTOR, снижение активности транскрипционных факторов (Stat5)	Снижение синтеза казеина, падение общего белка, слабый сгусток
Ацидоз рубца	Нарушение синтеза ацетата, изменение профиля короткоцепочечных жирных кислот	Подавление экспрессии генов липогенеза (ACACA, FASN), изменение состава и твердости жира
Тепловой стресс	Активация стрессовых киназ, повышение кортизола, подавление пролактинового сигналинга	Глобальное снижение экспрессии генов казеинов (CSN2, CSN3) и ферментов липогенеза (FASN, SCD1) в эпителии молочной железы; одновременная активация липолиза (повышение активности липопротеинлипазы), что ведет к увеличению доли свободных жирных кислот в молоке
Субклинический мастит	Взрывная экспрессия цитокинов, подавление Stat5, активация генов плазмина и липаз	Снижение содержания казеинов, рост доли сывороточных белков и свободных жирных кислот, ухудшение сыропригодных свойств
Сезонный переход (весна)	Изменение гормонального фона (пролактин, соматотропин), адаптация метаболических путей	Нестабильность экспрессии генов синтеза компонентов, колебания состава

---

Основой синтеза казеина через кормление является баланс энергии и белка в рационе. Дефицит обменной энергии и физиологически адекватного переваримого протеина в рационе ведет к переключению метаболизма высокопродуктивной коровы на режим выживания, мобилизации резервов тела (истощение) в ущерб синтезу молока [101, 102]. Синтез молочного белка, в первую очередь казеина, представляет собой исключительно энергозатратный процесс, который требует значительных ресурсов АТФ и поступления специфических предшественников – аминокислот [92]. Последствием дефицита является снижение общего содержания белка (на 0,2–0,4 %) и, что критично, казеиновой фракции – на 0,3–0,5 %. Это напрямую ведет к снижению выхода сыра на 5–10 %, поскольку казеин – структурная основа сгустка. Молоко становится «бедным», сычужный сгусток формируется медленно, обладает слабой синергической способностью и повышенной ломкостью. Например, при дефиците метионина и лизина (лимитирующих аминокислот для синтеза белка) не только снижается количество казеинов, но и может меняться их соотношение [103, 104].

Существуют определенные последствия избытка легкопереваримых углеводов (крахмала), который вызывает ацидоз рубца. Превышение физиологической нормы концентратов (более 400–500 г крахмала на литр молока) смещает брожение в рубце в сторону бурного образования молочной кислоты и пропионовой в ущерб уксусной [105]. Хронический субклинический ацидоз рубца (рН < 5,8) и связанные с ним метаболические нарушения (ламингит, поражение печени) приводят не только к падению жирности [106]. Более важно, что системный ацидоз и дисбиоз рубца вызывают изменение белкового профиля молока: снижается доля казеина и растет содержание сывороточных белков. Нарушается оптимальное соотношение казеин/сывороточные белки, что замедляет сычужное свертывание, делает сгусток более нежным, студнеобразным и влажным, увеличивая потери белка и жира в сыворотку. Такой сгусток плохо обрабатывается ножами, мнется [92].

Формирование правильной жировой фазы и здорового рубца зависит от структуры рациона. Классический сено-сенажно-концентратный тип рациона с достаточным количеством клетчатки (17–20 % от сухого вещества рациона) благотворно влияет как на здоровье коров, так и на сыропригодность получаемого молока [101]. Длинноволокни-

стая физически эффективная клетчатка (хорошее сено, часть сенажа) стимулирует жвачку и выработку щелочной слюны, буферизирующей рубец. Это поддерживает оптимальный рН (6,0–6,5) для целлюлолитической микрофлоры, которая продуцирует уксусную кислоту (основной субстрат для синтеза коротко- и среднецепочечных жирных кислот (от C<sub>4:0</sub> до C<sub>16:0</sub>) в вымени) [107]. Эти жирные кислоты составляют до 50 % молочного жира и определяют его твердость и пластичность [108].

Стабильный синтез уксусной кислоты в рубце обеспечивает не только достаточное количество, но и правильный, стабильный состав молочного жира с оптимальным соотношением жирных кислот [109]. Такой жир имеет более высокую температуру плавления, лучше включается и удерживается в сычужном сгустке, придает сыру плотную, пластичную (не мажущуюся), слегка упругую консистенцию и полноценный, чистый вкус. Резкая смена рациона (например, быстрый выход на сочное весеннее пастбище без адаптации) вызывает бродильный дискомфорт, нарушает микробный баланс рубца, что ведет к колебаниям в составе жира (может временно повышаться доля ненасыщенных жирных кислот) и белка, делая молоко технологически непредсказуемым [110, 111].



Основополагающими факторами гигиены и чистоты вкуса молока являются качество кормов и воды [112]. Согласно ветеринарно-санитарным правилам, использование некачественных или испорченных кормов не допускается, однако на практике такие случаи встречаются, особенно в условиях дефицита качественных кормов. Попадание микотоксинов, продуктов окисления или патогенов из низкокачественных кормов оказывает комплексное негативное влияние на сыропригодность молока: опосредованно – через ухудшение здоровья животного (субклинический мастит, ацидоз рубца); непосредственно – через проникновение токсинов в молоко, что изменяет его биохимический состав и технологические свойства.

Микотоксины в заплесневелых кормах (афлатоксины, охратоксин А, зеараленон) подавляют полезную микрофлору рубца, угнетают иммунитет животного, нарушают функцию печени и почек [113]. Это приводит не только к снижению продуктивности, но, что критично, к накоплению токсичных метаболитов в молоке (например, афлатоксин М1). Даже в следовых, допустимых санитарными нормами количествах некоторые микотоксины могут ингибировать развитие и метаболическую активность молочнокислых бактерий закваски во время

сыроделия, вызывая задержку кислотообразования, нарушение процесса коагуляции и формирования сгустка и пороки созревания сыра (невывраженный вкус, аномальная консистенция) [114].

Поскольку молоко на 87–88 % состоит из воды, ее качество определяет качество основы будущего продукта. Качество воды, потребляемой животными, имеет принципиальное значение для здоровья коров и качества получаемого молока. Вода не является стерильным раствором и может содержать различные компоненты, влияющие на метаболизм животного. Например, концентрация железа выше 0,3 мг/л ухудшает вкусовое восприятие воды и вызывает окислительный стресс, который потенциально ведет к иммунной дисфункции, маститу, метриту или снижению усвоения микроэлементов (меди, марганца, цинка) из корма. Высокое содержание марганца также негативно сказывается на качестве воды и ее приемлемости для животных.

Высокая бактериальная обсемененность, особенно психротрофными бактериями, негативно влияет на здоровье желудочно-кишечного тракта животного. Нарушение рубцового пищеварения, играющего ключевую роль в усвоении питательных веществ, потенциально сказывается на синтезе предшественников молока. Присутствие в воде сероводорода, хлорфенолов и других веществ может передаваться молоку, ухудшая его органолептические свойства. Это особенно критично для производства высококачественных сыров, где тонкий вкус и аромат имеют решающее значение. Прямое ингибирующее действие воды на заквасочную микрофлору в сыродельной ванне маловероятно, если вода соответствует микробиологическим нормативам питьевой воды. Однако в молочной промышленности к воде предъявляются особенно строгие требования: даже незначительные примеси могут повлиять на процессы ферментации, созревание сыров и другие биохимические процессы.

Для обеспечения высокого качества молока и сыропригодности продукта необходимо: контролировать не только бактериологические, но и физико-химические показатели воды (жесткость, уровень pH, содержание сульфатов, хлоридов, нитратов и других веществ); регулярно проводить анализ качества воды на ферме (рекомендуется дважды в год – в конце лета и зимой) для своевременного выявления проблем; обеспечивать регулярную очистку и дезинфекцию систем



поения животных, чтобы предотвратить образование в трубопроводах биопленки, служащей средой для размножения патогенов. Чистая, физиологически полноценная вода – обязательное условие для здоровья животных, стабильной продуктивности и высокого качества молока, используемого в сыроделии [79, 111, 115, 116].

Обеспечение высокого качества молока-сырья требует комплексного подхода, где наряду с рационом кормления критически важны условия содержания коров и корректное выполнение всех технологических операций (доения, хранения и транспортировки сырья до перерабатывающего предприятия) [117]. Если кормление определяет биохимический профиль молока, то условия содержания и первичная обработка (включая гигиену доения, контроль мастита, охлаждение молока) формируют его технологическую целостность. Эти факторы влияют не только на бактериальную обсемененность, но и на белковый состав, стабильность казеиновых мицелл и ферментативную активность, напрямую определяя сохранность и реализацию производственного потенциала сырья. Именно на этом этапе закладывается основа стабильности сыроделия либо создаются предпосылки для технологической нестабильности [21].

Контроль микроклимата и минимизация стрессовых факторов являются ключевыми для предотвращения биохимических сбоев у животных [118]. Основными источниками хронического стресса (теплого, холодого или психогенного) являются: температура за пределами зоны комфорта, повышенная влажность, недостаточный воздухообмен, высокая концентрация аммиака, скученное содержание. Ответная реакция организма включает значительное повышение уровня кортизола и адреналина. Это не только снижает потребление корма и удои, но и системно меняет приоритеты метаболизма, что влияет на состав молока [119].

Стресс перераспределяет ресурсы организма, угнетая энергоёмкие анаболические процессы, такие как синтез компонентов молока. Повышается проницаемость клеточных мембран, что может влиять на солевой и белковый состав молока.

Прямые последствия для сыропригодности проявляются комплексно. Снижается синтез казеина и жира, что уменьшает концентрацию сухих



веществ и выход сыра; активация липолиза повышает уровень свободных жирных кислот, вызывая прогорклый привкус сырья; а риск роста соматических клеток из-за иммуносупрессии приводит к повышению протеолитической активности плазмина и дальнейшей деградации казеина [20, 79].

Важным условием для получения молока высокого сыропригодного качества является создание и поддержание оптимальных условий содержания поголовья [120]. К ним относятся: температура в диапазоне 5–18 °С, относительная влажность 60–70 %, скорость движения воздуха 0,5–1,5 м/с и полезная площадь не менее 6–7 м<sup>2</sup> на одно животное. Соблюдение этих параметров представляет собой меру обеспечения благополучия скота, напрямую связанную со стабильностью технологических свойств молока [79].

Созревание молока представляет собой целенаправленную биохимическую модификацию сырья для подготовки к его переработке. Фундаментом процесса служит выдержка охлажденного сырья (при 8–12 °С в течение 12–16 ч.), представляющая собой управляемую естественную подготовку. Без данного этапа достижение стабильного высокого качества в сыроделии невозможно [11].



Источники изображений: freepik.com

С биохимической точки зрения процесс созревания представляет собой управляемую подготовку молока, которая включает два фундаментальных изменения. Во-первых, это контролируемое развитие заквасочной микрофлоры и сопутствующее естественное подкисление среды, снижающее рН на 0,1–0,2 ед. Данный сдвиг кислотности является главным физико-химическим фактором, регулирующим последующее сычужное свертывание, поскольку влияет на электростатический заряд мицелл и ферментативную активность. Во-вторых, происходит существенное изменение солевого баланса, в частности переход ионов кальция из связанного коллоидного состояния в активную растворимую форму. Эти ионы впоследствии выступают в роли необходимых «мостиков», сшивающих пара-каппа-казеинатные мицеллы после ферментативного гидролиза химозином в единый трехмерный гель-сгусток [92, 121].

Технологическими результатами подготовки молока являются сокращение времени сычужного свертывания на 15–20 % по сравнению с неподготовленным молоком, что обеспечивает синхронность процесса; формирование плотного и эластичного сгустка с оптимальными реологическими свойствами для резки; равномерный синерезис для точного контроля влажности сыра; повышение выхода продукта на 2–5 % за счет улучшения синерезиса и снижения потерь белка и жира при обработке сырного зерна [122].

При обеспечении сыроделия качественным молочным сырьем здоровье вымени выступает не просто ветеринарным критерием, а неотъемлемым технологическим условием [123]. Скрыто протекающие (субклинические) воспалительные процессы оказывают наиболее разрушительное и быстрое воздействие на технологические свойства молока, нивелируя результаты селекции и оптимального кормления [11]. Субклинический мастит является скрытой формой воспаления вымени. В зависимости от возбудителя, характер и масштаб этих изменений могут различаться. Так, мастит, вызванный грамотрицательными бактериями (например, *E. coli*), протекает остро с резким повышением проницаемости капилляров, что приводит к «разбавлению» молока сывороточными белками и резкому падению содержания казеина и лактозы. Хронические маститы, вызванные *Staphylococcus aureus*, характеризуются меньшим воспалением, но длительной персистенцией инфекции, что ведет к постепенной атрофии секреторной ткани и стабильно высокому уровню протеолитических ферментов (плазмина) в молоке, разрушающих казеин и вызывающих горечь в сыре. В отличие от клинической формы, он не вызывает видимых изменений макроскопических свойств молока, таких как: цвет (остается белым или слегка кремовым); консистенция (без сгустков и хлопьев); запах (без посторонних ароматов); вкус (без горечи или кислоты). Однако при этом наблюдается повышенный уровень соматических клеток (свыше 200 000 кл./мл) и скрытые биохимические изменения: снижение доли казеина; повышение активности плазмина и липазы; нарушение солевого баланса (снижение растворимого кальция); изменение рН. Эти нарушения ухудшают сычужное свертывание, замедляют синерезис и снижают выход сыра, делая молоко непригодным для качественного сыроделия [124, 125].

Последствия для сыроделия выражаются в том, что происходит нарушение коагуляции, при этом из-за деградации казеина и изменения солевого баланса время сычужного свертывания увеличивается на 50–100 %, а иногда молоко вообще не свертывается. Образующийся сгусток неприемлемого качества, он рыхлый, слоистый, водянистый, мажущийся, неспособный к нормальному синерезису, при этом он плохо удерживает жир, который массово теряется в сыворотку [11, 121, 126].

Потери жира и белка в сыворотку возрастают, приводя к снижению выхода сыра на 10–15 % и более. В готовом продукте накапливаются горькие

пептиды (продукты распада казеина плазмином) и свободные жирные кислоты (вследствие активации липаз), вызывая пороки вкуса (стойкая горечь, прогорклость) и дефекты консистенции (мажущаяся, крошливая, слабая). Даже 5–7 % молока от коровы с субклиническим маститом в общем объеме партии достаточно для необратимого ухудшения качества свертывания всей партии [124]. Такие последствия делают систематический контроль содержания соматических клеток на ферме (например, раз в месяц) и оперативный контроль на заводском приемном пункте безальтернативным [123].

В партиях молочного сырья для сыроделия не следует включать молозиво и стародойное молоко, поскольку это физиологически непригодное сырье. Эти типы секрета представляют собой естественные, но абсолютно несовместимые с сыроделием физиологические состояния, и их попадание в общий танк гарантированно приводит к браку [17, 127].

Секрет молочной железы в начальный период лактации, молозиво (первые 3–5 дней), обладает уникальным составом, делающим его непригодным для сыроделия. Доминирование иммуноглобулинов (свыше 50 мг/мл), альбумина и лейкоцитов при минимальном содержании казеина отвечает биологической задаче пассивного иммунитета, но исключает нормальное сычужное свертывание. Вследствие этого молозиво не формирует плотного сгустка, а его мощные природные бактериостатические компоненты (иммуноглобулины, лактоферрин) ингибируют работу молочнокислых заквасок, блокируя любой технологический процесс [128, 129].

Стародойное (запускное) молоко, получаемое в последние 10–15 дней лактации перед запуском, характеризуется глубокими изменениями состава. В нем резко повышается содержание жира (зачастую превышая 6 %) и хлоридов (> 0,14 %) при одновременном снижении уровня лактозы и казеина. Происходит также сдвиг в составе жирных кислот в сторону длинноцепочечных, что обусловлено физиологической адаптацией к завершению лактации. При снижении синтеза лактозы организм мобилизует жировые запасы, усиливая липолиз. Это приводит к повышению концентрации в крови и молоке длинноцепочечных жирных кислот (пальмитиновой  $C_{16:0}$ , стеариновой  $C_{18:0}$ ) при одновременном снижении синтеза коротко- и среднецепочечных кислот в молочной железе. Такие изменения негативно влияют на физико-химические и технологические



Источник изображения: freepik.com

свойства молока [130]. Эти биохимические изменения придают молоку выраженный соленый или горьковатый привкус и делают его технологически непригодным. Из-за высокого содержания хлора и низкой концентрации кальция сычужное свертывание протекает крайне медленно и неполно. Образующийся сгусток обладает плохой способностью к синерезису, оставаясь влажным и вязким. Сыр, произведенный из такого сырья, приобретает грубую, салистую и крошливую консистенцию, а также выраженные пороки вкуса [17].

Управление сезонными колебаниями состава молока и физиологическими изменениями в ходе лактации представляет собой ключевую задачу для обеспечения стабильности сырья в круглогодичном сыроделии. Эффективное регулирование этих временных факторов служит завершающим элементом общей системы контроля качества, позволяя преобразовать естественную изменчивость сырья в технологическую предсказуемость производственного процесса [131].

Сезонные колебания состава молока представляют собой биоклиматический вызов для сыроделия. В конце стойлового периода (февраль–апрель) молоко демонстрирует наименьшую сыропригодность: из-за дефицита питательных веществ снижается содержание казеина и растворимого кальция, что приводит к медленному свертыванию, плохому синерезису и низкому выходу сыра. Готовый продукт часто имеет грубую консистенцию и слабовыраженный вкус. Напротив, в конце лета – начале осени (август–октябрь) наблюдается пик качества молока. Пастбищное кормление обеспечивает оптимальный баланс питательных веществ: высокое содержание казеина, достаточное количество кальция и благоприятный рН. Это гарантирует быстрое свертывание, хороший синерезис, высокий выход и отличное качество сыра. Такая сезонная динамика обусловлена метаболическим напряжением в конце стойлового периода и дефицитом питательных веществ [11]. Исчерпание летних резервов и использование кормов низкого качества (перестоявшее сено, перекишенный силос) вызывают дефицит энергии, метаболизируемого протеина, ацетата (для синтеза жира) и незаменимых аминокислот (для синтеза казеина) [132, 133]. Параллельно, сезонное увеличение светового дня опосредованно влияет на гормональный фон животных, модулируя активность пролактина и соматотропного гормона, что может смещать метаболические приоритеты и дополнительно влиять на состав молока [134].

Технологические последствия сезонности для сыроделия обусловлены тем, что в весенний период молоко характеризуется минимальным содержанием сухих веществ, белка (особенно казеина), жира и коллоидного кальция [135]. Например, содержание белка может падать до 2,7–2,9 % против осенних 3,3–3,5 %. Это приводит к значительному удлинению времени сычужного свертывания (до 40–50 мин), формированию слабого, рыхлого, плохо отделяющего сыворотку сгустка. Выход сыра падает на 10–15 % по сравнению с осенними показателями. Заквасочные культуры в таком молоке развиваются медленнее из-за дефицита ростовых факторов: низкого содержания пептидов и свободных аминокислот (продуктов неглубокого протеолиза), а также сниженной буферной емкости и неоптимального минерального состава (дефицит ионизированного кальция, необходимого для метаболизма молочнокислых бактерий). Летне-осеннее молоко технологически более приемлемо, т. к. сбалансированное кормление (сочное пастбище, бобовые травы, зеленые подкормки) обеспечивает высокий уровень энергии, протеина и предшественников. Молоко богато казеином, жиром, витаминами и минералами. Сычужное свертывание проходит быстро и активно (15–25 мин), сгусток плотный, эластичный, с высоким выходом (11–13 % для полножирных сыров) и отличными органолептическими свойствами будущего сыра.

Управление качеством сырья требует учета физиологических изменений в ходе лактации [136]. Молоко ранней лактации, сохраняющее следы молозива, технологически нестабильно и должно исключаться из переработки. Оптимальное сыропригодное качество характерно для фазы пика лактации (2–5 мес.), когда состав молока наиболее сбалансирован. В поздней же фазе рост концентрации сухих веществ (жира и белка) сопровождается негативными качественными сдвигами, такими как увеличение доли сывороточных белков и тугоплавкость жира, что делает молоко непригодным для сыроделия из-за плохого свертывания и риска пороков продукта [17].

Эффективной стратегией управления, позволяющей сгладить сезонные и физиологические колебания, является внедрение системы круглогодичного равномерного (распределенного) отела. Ключевой принцип данной системы заключается в планировании осеменения и отелов таким образом, чтобы в стаде постоянно присутствовали коровы на разных стадиях



Источник: илл. Иллюстрация: Freepress.com

лактации, при этом примерно у 8–10 % коров от общего поголовья происходит отел в каждый месяц года [137]. Это обеспечивает в общем танке-охладителе постоянное смешивание молочных потоков различного качества: от коров в середине лактации, дающих большой объем стабильного молока, богатого казеином и жиром; от коров в ранней лактации, производящих меньший объем более жидкого молока; и от коров в поздней лактации, чье молоко хотя и концентрированное, но поступает в малом объеме и имеет технологические ограничения. В результате смешивания достигается относительная стабильность физико-химических показателей сырья [138, 139].

## Выводы

Сыропригодность молока представляет собой комплексный технологический показатель, возникающий в результате динамического взаимодействия двух фундаментальных групп факторов: постоянного генетического потенциала (генотипа) и управляемых средовых условий (паратипических факторов).

Генетический фактор выступает как первичный и лимитирующий. Он определяет «архитектурный проект» молока через полиморфизм ключевых

генов (CSN3, CSN2, CSN1S1, LGB, DGAT1, гены иммунитета и ряд других генов), задавая пределы возможного по содержанию, структуре и функциональным свойствам белков и жира. Выбор породы и индивидуальный отбор на основе геномной оценки по технологически значимым признакам являются стратегической основой для получения сырья с изначально высоким потенциалом сыропригодности.

Паратипические факторы (кормление, микроклимат, здоровье, технология) являются мощными регуляторами, реализующими или подавляющими генетический потенциал. Их влияние носит не поверхностный, а глубинно-молекулярный характер, осуществляясь через сложные сигнальные каскады и эпигенетические механизмы, модулирующие экспрессию генов в секреторной ткани вымени. Кормление, будучи главным управляемым фактором, напрямую определяет биохимический профиль молока через обеспечение организма энергией и специфическими предшественниками. Условия содержания и здоровье вымени формируют его технологическую целостность, предотвращая стресс-индуцированные и воспалительные сбои, которые быстро и необратимо разрушают сыропригодность.

Физиологическая и сезонная изменчивость молока являются естественными процессами, требующими активного управления. Понимание кривых лактации и годовых биоклиматических циклов позволяет нивелировать эти колебания через планирование отелов, сегрегацию физиологически непригодного молока (молозиво, стародойное) и адаптацию технологии.

Таким образом, обеспечение стабильно высокой сыропригодности молока возможно только на основе системного подхода, объединяющего в себе генетическую селекцию на технологически ценные аллели, управление паратипическими факторами, основанное на понимании молекуляр-

ных механизмов влияния кормления и содержания на экспрессию генов и строгий технологический контроль на всех этапах – от профилактики мастита и соблюдения гигиены до созревания сырья. Переход от получения «молока вообще» к целенаправленному производству «сырья с заданными технологическими свойствами» является ключевым условием для повышения выхода, качества и конкурентоспособности сыродельной продукции. Будущее отрасли лежит в создании замкнутых цепочек «продукт-ориентированного животноводства», где требования технологий сыроделия закладываются на уровне генетического выбора и ежедневно реализуются через научно обоснованное управление. ■

Поступила в редакцию: 17.12.2025

Принята в печать: 12.02.2026

## Cheese-Making Suitability of Dairy Raw Materials: Fundamentals and Development

Vladimir A. Pleshkov, Oksana V. Kozlova

Kemerovo State University, Kemerovo

The cheese-making suitability of milk depends on several factors, including the genetic potential of dairy cattle and environmental conditions. This article examines the systemic relationships between animal genotype, molecular regulatory mechanisms, environmental factors, and processing technologies. A comprehensive analysis of these elements allows for the formulation of practical measures to ensure stable raw material quality. Genetic factors serve as the primary and limiting condition: breed and gene polymorphism significantly influence the composition, structure, and functional properties of milk proteins and fats. These genes include  $\kappa$ -casein (CSN3),  $\beta$ -casein (CSN2),  $\alpha$ s1-casein (CSN1S1),  $\beta$ -lactoglobulin (LGB), lipogenic enzyme DGAT1, and mastitis resistance genes. While genetic potential defines biological limits, breeding for technologically valuable alleles remains a core strategy. Paratypical factors either implement or suppress the genetic program through various mechanisms, exerting a profound regulatory impact, which occurs via complex signaling and epigenetic modifications that fine-tune gene expression in mammary epithelial cells in response to resource availability and external stressors. Subclinical mastitis and stress trigger biochemical shifts that impair cheese-making suitability. However, the physiological and seasonal variability of raw materials can be managed through systematic interventions. For instance, colostrum and late-lactation milk must be excluded from cheese production; meanwhile, year-round uniform calving and mandatory milk maturation can smooth quality fluctuations. Ultimately, reliable raw material quality depends on an integrated approach that combines targeted genetic selection, molecular-based environmental management, and rigorous technological standards. Such a system minimizes the natural heterogeneity of milk, ensuring the predictability of the cheese-making process.

**Keywords:** casein genetic polymorphism, paratypical factors, gene expression, epigenetic regulation, subclinical mastitis, rennet coagulation

### Список литературы

1. Кудрина, М. А. Пищевая ценность коровьего молока / М. А. Кудрина, И. С. Кожевникова, Н. А. Худякова // Вестник КрасГАУ. 2022. № 12(189). С. 229–236. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-12-229-236>; <https://elibrary.ru/tsnxfj>
2. Пономарев, А. Н. Молоко как сырье для производства пищевых ингредиентов. Часть 1. Фракционирование обезжиренного молока с целью получения ингредиентов / А. Н. Пономарев [и др.] // Молочная промышленность. 2021. № 4. С. 34–36. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-04-34-36>; <https://elibrary.ru/smbbvc>
3. Пономарев, А. Н. Молоко как сырье для производства пищевых ингредиентов. Часть 3. Лактоза и ее дериваты / А. Н. Пономарев [и др.] // Молочная промышленность. 2021. № 6. С. 60–62. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-06-60-62>; <https://elibrary.ru/mkssdb>
4. Вагапов, Ф. Ф. Химический состав и качество молока / Ф. Ф. Вагапов, Н. В. Гизатова // Мичуринский агрономический вестник. 2017. № 1. С. 51–55. <https://elibrary.ru/ywnwmh>
5. Hanuš, O. Raw cow milk protein stability under natural and technological conditions of environment by analysis of variance / O. Hanuš [et al.] // Foods. 2021. Vol. 10(9). Art. no. 2017. <https://doi.org/10.3390/foods10092017>
6. Гаврилова, Н. Б. Определение возможности использования в технологии полутвердого сыра ферментного препарата «Lactoferm» / Н. Б. Гаврилова [и др.] // Сыроделие и маслоделие. 2024. № 2. С. 54–59. <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2024-2-2>; <https://elibrary.ru/sjdlst>
7. Гунькова, П. И. Факторы, определяющие сыропригодность молока / П. И. Гунькова [и др.] // Сыроделие и маслоделие. 2020. № 5. С. 38–42. <https://elibrary.ru/vmpcez>
8. Мордвинова, В. А. Вопросы практического сыроделия: возможные причины возникновения некоторых пороков консистенции созревающих сыров / В. А. Мордвинова, И. Л. Остроухова, С. Г. Ильина // Сыроделие и маслоделие. 2021. № 6. С. 24–26. <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2019-12-6-8>; <https://elibrary.ru/dmmmfj>

9. **Panthi, R. R.** Selection and treatment of milk for cheesemaking / R. R. Panthi [et al.]. // Cheese. Chemistry, Physics and Microbiology. Ed. by Paul L. H. McSweeney. – Academic Press, 2017. – P. 23–50. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417012-4.00002-8>
10. **Мордвинова, В. А.** Актуальные направления развития современного сыроделия (по материалам юбилейной конференции ВНИИМС) / В. А. Мордвинова, Ю. Я. Свириденко // Переработка молока. 2019. № 12(242). С. 6–9. <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2019-12-6-8>; <https://elibrary.ru/dmnmfpr>
11. **Голубенко, Т. Л.** Требования к качеству молока как сырья для производства сыра / Т. Л. Голубенко, Е. П. Разанова // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. 2021. № 15. С. 146–154. <https://doi.org/10.47612/2220-8755-2020-15-146-154>; <https://elibrary.ru/zsfgh>
12. **Разумовский, Н.** Полноценность кормления коров и качество молока / Н. Разумовский // Белорусское сельское хозяйство. 2023. № 4. С. 55–58. <https://elibrary.ru/kuyamb>
13. **Poulsen N. A.** Genetic factors affecting the composition and quality of cow's milk / N. A. Poulsen, B. L. Larsen. – Burleigh Dodds Science Publishing Limited, 2021 – 33 p. <http://doi.org/10.19103/AS.2022.0099.15>
14. **Захаров, В. Л.** Влияние породы крупного рогатого скота на технологические качества молока и выработанного из него сыра для гриля / В. Л. Захаров [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2022. № 3(180). С. 171–181. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-3-171-181>; <https://elibrary.ru/zentyr>
15. **Мкртчян, Г. В.** Многообразие форм молочных белков у голштинских и джерсейских коров по каппа-казеину и бета-лактоглобулину / Г. В. Мкртчян, Л. А. Калашникова // Зоотехния. 2023. № 9. С. 7–11. <https://doi.org/10.25708/ZT.2023.45.90.002>; <https://www.elibrary.ru/agsirc>
16. **Карамеева, А. С.** Влияние породы на сыропригодность молока и качество сыра / А. С. Карамеева, Н. В. Соболева, С. В. Карамеев // Молочное и мясное скотоводство. 2018. № 5. С. 34–38. <https://elibrary.ru/xziuct>
17. **Новгородская, Н. В.** Факторы определяющие сыропригодность молока / Н. В. Новгородская // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. 2018. № 12. С. 143–148. <https://elibrary.ru/hawmka>
18. **Медведский, В.** Получаем качественное молоко / В. Медведский // Животноводство России. 2019. № S1. С. 71–72. <https://doi.org/10.25701/ZZR.2019.44.51.009>; <https://elibrary.ru/avhpnz>
19. **Янковская, В. С.** Безопасность и качество молока-сырья для производства молока питьевого стерилизованного / В. С. Янковская [и др.] // Молочная промышленность. 2021. № 9. С. 57–59. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-09-57-59>; <https://elibrary.ru/absiyf>
20. **Серба, Е. В.** Влияние зоотехнических факторов на белковый состав сырого коровьего молока / Е. В. Серба, Е. А. Юрова // Аграрная наука. 2024. № 10. С. 192–200. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-192-200>; <https://elibrary.ru/uqhpjt>
21. **Смоленцев, С. Ю.** Основные направления повышения качества молока (обзор) / С. Ю. Смоленцев, И. С. Иванов, Е. В. Хардина // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2024. Т. 10, № 3(39). С. 244–255. <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2024-10-3-244-255>; <https://elibrary.ru/vndmgw>
22. **Sachan R. S.** Advancement in cheese production technology / R. S. Sachan, Karnwal, A. // Advances in dairy microbial products. Ed. by J. Singh and A. Vyas – Woodhead Publishing, 2022. – P. 191–208. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85793-2.00023-0>
23. **Топникова, Е. В.** Сыроделие и маслоделие сегодня: проблемы и возможные пути их решения / Е. В. Топникова, Г. Н. Рогов // Сыроделие и маслоделие. 2022. № 4. С. 4–8. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2022-4-4-8>; <https://elibrary.ru/ebbhcu>
24. **Коновалова, Е. Н.** Современные аспекты изучения компонентного состава молока коров (обзор) / Е. Н. Коновалова, Е. А. Гладырь // Молочное и мясное скотоводство. 2025. № 4. С. 27–31. <https://doi.org/10.33943/MMS.2025.82.78.005>; <https://elibrary.ru/qfgjln>
25. **Lihodeevskaya O. E.** Effect of genetic and paratypical factors on milk production in cattle / O. E. Lihodeevskaya [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – Vol. 677(4). – Art. no. 042039. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/4/042039>
26. **Терентьева, Н. А.** Паратипические и генотипические факторы в оценке продуктивного долголетия коров красно-пестрой породы Красноярского края / Н. А. Терентьева, И. М. Дунин, Г. И. Шичкин // Молочное и мясное скотоводство. 2022. № 6. С. 18–22. <https://doi.org/10.33943/MMS.2022.23.20.003>; <https://elibrary.ru/eghxwh>
27. **Тяжченко, А. Н.** Роль генов молочных белков (CSN2, CSN3, BLG) в формировании технологических свойств молока крупного рогатого скота / А. Н. Тяжченко [и др.] // Аграрный вестник Нечерноземья. 2023. № 3(11). С. 40–49. <https://elibrary.ru/mjbcck>
28. **Kebede, E.** Effect of cattle breed on milk composition in the same management conditions / E. Kebede // Ethiopian Journal of Agricultural Sciences. 2018. Vol. 28(2). P. 53–64.
29. **Шендакова, Т. А.** Генетические тенденции в популяциях голштинского скота: мультипликативное взаимодействие генов и элиминация рецессивных аллелей / Т. А. Шендакова, А. И. Шендаков, Б. Е. Бахтин // Биология в сельском хозяйстве. 2017. № 1(14). С. 25–32. <https://elibrary.ru/vnifud>
30. **Сударев, Н. П.** Разведение крупного рогатого скота голштинской и черно-пестрой пород в хозяйствах России, Центрального федерального округа и Тверской области / Н. П. Сударев [и др.] // Зоотехния. 2016. № 3. С. 2–4. <https://elibrary.ru/vojfcn>
31. **Мкртчян, Г. В.** Корреляция между признаками молочной продуктивности у голштинизированных коров черно-пестрой породы разной селекции / Г. В. Мкртчян, А. В. Бакай, Ф. Р. Бакай // Зоотехния. 2020. № 11. С. 2–4. <https://doi.org/10.25708/ZT.2020.92.54.001>; <https://elibrary.ru/fhmmwg>
32. **Левина, Г. Н.** Состояние и перспективы развития симментальской породы крупного рогатого скота в Российской Федерации / Г. Н. Левина // Генетика и разведение животных. 2016. № 1. С. 17–21. <https://elibrary.ru/vowfgb>
33. **Фураева, Н. С.** Современный экстерьер крупного рогатого скота ярославской породы / Н. С. Фураева, Е. А. Зверева, Н. А. Шаехова // Вестник АПК Верхневолжья. 2022. № 3(59). С. 22–29. <https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.59.3.003>; <https://elibrary.ru/unbszo>
34. **Баранова, Н. С.** Роль ученых Костромского НИИСХ в совершенствовании породно-продуктивных качеств скота костромской породы / Н. С. Баранова, Е. Г. Федосенко // Аграрный вестник Нечерноземья. 2023. № 1(9). С. 20–26. [https://doi.org/10.52025/2712-8679\\_2023\\_01\\_20](https://doi.org/10.52025/2712-8679_2023_01_20); <https://elibrary.ru/cmhrft>

35. **Скоркина, И. А.** Изменение молочной продуктивности коров симментальской, красно-пестрой голштинской пород и их помесей / И. А. Скоркина, С. А. Ламонов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2020. № 2(61). С. 99–103. <https://elibrary.ru/fpvnxg>
36. **Иванов, В.** Порода скота и качество сыра / В. Иванов, Н. Марзанов, Ю. Саморуков // Животноводство России. 2016. № S3. С. 5–8. <https://elibrary.ru/whfied>
37. **Кошцаев, А. Г.** Генетическая структура популяции первотелок голштинского скота по полиморфизму молочных белков CSN2, CSN3 и BLG / А. Г. Кошцаев, А. Э. Будько // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2025. № 6. С. 118–125. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202506112>; <https://elibrary.ru/xwwnfy>
38. **Закирова, Р. Р.** Анализ сыропригодности молочного сырья дочерей быков-производителей разной селекции / Р. Р. Закирова, К. Е. Шкарупа, Г. Ю. Березкина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 1(87). С. 225–229. <https://elibrary.ru/fqcczw>
39. **Файзуллин, П. В.** Молочная продуктивность коров разной линейной принадлежности и качество получаемого сыра / П. В. Файзуллин, О. В. Горелик // Главный зоотехник. 2023. № 5(238). С. 43–56. <https://doi.org/10.33920/sel-03-2305-05>; <https://elibrary.ru/vwvglz>
40. **Чупшева, Н. Ю.** Молочная продуктивность коров черно-пестрой породы в условиях ООО «Красная горка» / Н. Ю. Чупшева // Эффективное животноводство. 2023. № 6(188). С. 64–65. <https://elibrary.ru/vwvglz>
41. **Trukhachev, V.** Creation of optimal selection-technological model cow of production type based on Holstein genotype / V. Trukhachev [et al.] // Engineering for Rural Development: Proceedings, Jelgava. Vol. 16. – Jelgava: Latvia University of Agriculture, 2017. – P. 916–919. <https://doi.org/10.22616/ERDev2017.16.N186>
42. **Лебедев, С. Г.** Влияние генетических и паратипических факторов на молочную продуктивность коров и пути ее повышения / С. Г. Лебедев [и др.] // Ветеринарный журнал Беларуси. 2021. № 1(14). С. 87–91. <https://elibrary.ru/masjaq>
43. **Афанасьева, Е. А.** Характер молочной продуктивности коров голштинской породы разного происхождения / Е. А. Афанасьева, А. Ю. Новикова, Т. А. Миронова // Эффективное животноводство. 2023. № 6(188). С. 62–63. <https://elibrary.ru/qxycqi>
44. **Илларионова, Е. Е.** Методы оценки свертываемости белков молока в системе прогнозирования технологических свойств / Е. Е. Илларионова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51, № 3. С. 503–519. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-503-519>; <https://elibrary.ru/prttkx>
45. **Falih, M. A.** Enhancing safety and quality in the global cheese industry: A review of innovative preservation techniques / M. A. Falih [et al.] // Heliyon. 2024. Vol. 10(23). Art. no. e40459. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40459>
46. **Вельматов, А. П.** Качественный состав белков молока голштинизированных коров различных генотипов / А. П. Вельматов, Н. Н. Неяскин, Т. Н. Тишкина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4(44). С. 136–139. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-4-136-139>; <https://elibrary.ru/vrgkwr>
47. **Илларионова, Е. Е.** Ассоциация полиморфизмов в биокластере генов казеина и сывороточных белков с технологическими свойствами молочного сырья / Е. Е. Илларионова [и др.] // Молочная промышленность. 2021. № 3. С. 60–62. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-03-60-62>; <https://elibrary.ru/qdervg>
48. **Гильманов, Х. Х.** Влияние комплексных генотипов генов CSN1S1, CSN2, CSN3 на молочную продуктивность коров и качество молока / Х. Х. Гильманов, С. В. Тюлькин, Р. Р. Вафин // Молочная промышленность. 2020. № 12. С. 60–61. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-12-60-61>; <https://elibrary.ru/abkftt>
49. **Глотова, Г. Н.** Действие аллельных вариантов гена CSN3 молока на его состав и физико-химические показатели при выработке творога / Г. Н. Глотова, В. А. Позолотина // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2021. Т. 13, № 2. С. 14–20. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2021.50.2.002>; <https://elibrary.ru/hlerey>
50. **Tyulkin, S. V.** DNA markers – a prediction criterion for yield and quality of raw milk / S. V. Tyulkin [et al.] // News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2019. Vol. 6(438). P. 177–183. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.168>
51. **Кузнецов, С. Б.** Новые сочетания аллелей в вариантах генов казеинового кластера крупного рогатого скота и ревизия их номенклатуры / С. Б. Кузнецов [и др.] // Генетика. 2022. Т. 58, № 8. С. 889–901. <https://doi.org/10.31857/S0016675822080057>; <https://elibrary.ru/dhegkw>
52. **Houaga, I.** Polymorphisms in major milk protein genes (LALBA, MBLG, CSN1S1 and CSN3) and milk fat genes (DGAT1 and SCD1) and association with milk production and fatty acid traits in indigenous White Fulani and Borgou cattle breeds in Benin / I. Houaga – JKUAT, 2018. – 145 p.
53. **Курченко, В. П.** Влияние молекулярной массы хитозана на взаимодействие с казеином / В. П. Курченко [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. 2018. Т. 54, № 5. С. 501–505. <https://doi.org/10.1134/S0555109918050112>; <https://elibrary.ru/xwnutj>
54. **Padilla Doval, J.** Estructura, propiedades y genética de las caseínas de la leche: una revisión / J. Padilla Doval, Ju. C. Zambrano Arteaga // CES Medicina Veterinaria y Zootecnia. 2021. Vol. 16(3). P. 62–95. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.5231>
55. **Петрова, С. Ю.** Современные сведения о казеинах молока / С. Ю. Петрова [и др.] // Биоорганическая химия. 2022. Т. 48, № 2. С. 207–216. <https://doi.org/10.31857/S0132342322020178>; <https://elibrary.ru/fsaulz>
56. **Кручинин, А. Г.** Сравнение полиморфизма генов молочных белков козьего и овечьего молока: мировой опыт / А. Г. Кручинин [и др.] // Пищевая промышленность. 2020. № 8. С. 36–40. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10083>; <https://elibrary.ru/senomh>
57. **Сафина, Н. Ю.** Влияние комплексных генотипов генов каппа-казеин (CSN3) и бета-лактоглобулин (LGB) на молочную продуктивность голштинского скота / Н. Ю. Сафина [и др.] // Аграрный научный журнал. 2020. № 5. С. 64–67. <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i5pp64-67>; <https://elibrary.ru/pkuanv>
58. **Агаркова, Е. Ю.** Противодиабетическая активность белков молочной сыворотки / Е. Ю. Агаркова, К. А. Рязанцева, А. Г. Кручинин // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50, № 2. С. 306–318. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-2-306-318>; <https://elibrary.ru/njthxe>
59. **Ozdemir, M.** Associations between BLG, CSN3, DGAT1, GH, PIT1, and PRL gene polymorphisms and milk production traits in Holstein dairy cows: A meta-analysis / M. Ozdemir [et al.] // Biochemical Genetics. 2025. Vol. 63(1). P. 1–21. <https://doi.org/10.1007/s10528-024-10706-8>

60. **Molee, A.** Effect of casein genes-beta-LGB, DGAT1, GH, and LHR on milk production and milk composition traits in crossbred Holsteins / A Molee, C Poompramun, P Mernkrathoke // *Genetics and Molecular Research*. 2015. Vol. 14(1). P. 2561-2571. <https://doi.org/10.4238/2015.march.30.15>
61. **Худякова, Н. А.** Влияние полиморфизма гена LGB на показатели молочной продуктивности коров холмогорской породы / Н. А. Худякова, Е. Н. Щипакова, А. С. Кашин // *Вестник Российского университета дружбы народов*. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19, № 2. С. 324-336. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2024-19-2-324-336>; <https://elibrary.ru/iqhvvg>
62. **Сафина, Н. Ю.** Полиморфизм гена  $\beta$ -лактоглобулина (LGB) и его взаимосвязь с экономически важными признаками голштинского скота / Н. Ю. Сафина [и др.] // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32, № 9. С. 78-80. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10918>
63. **Парыгина, Е. В.** Связь аллельных вариантов A и B гена бета-лактоглобулина с молочной продуктивностью крупного рогатого скота / Е. В. Парыгина, И. С. Кожевникова // *Генетика*. 2023. Т. 59, № 2. С. 127-134. <https://doi.org/10.31857/S0016675823020078>; <https://elibrary.ru/kxhozdz>
64. **Позовникова, М. В.** Связь полиморфизма гена DGAT1 с хозяйственно полезными признаками коров / М. В. Позовникова [и др.] // *Молочное и мясное скотоводство*. 2017. № 8. С. 9-12. <https://elibrary.ru/ylynob>
65. **Позовникова, М. В.** Молочная продуктивность коров с различными генотипами гена DGAT1 / М. В. Позовникова // *Эффективное животноводство*. 2018. № 7(146). С. 46-47. <https://elibrary.ru/yundxf>
66. **Иванова, И. П.** Полиморфизм гена DGAT1 в популяции коров красной степной породы в Омской области / И. П. Иванова, Я. А. Кабицкая // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2023. № 4(52). С. 56-61. <https://elibrary.ru/xzktdu>
67. **Третьякова, Р. Ф.** Влияние полиморфизма гена DGAT1 на продуктивность мясного скота казылжарской породы / Р. Ф. Третьякова, Ф. Г. Каюмов // *Молочное и мясное скотоводство*. 2024. № 3. С. 16-19. <https://doi.org/10.33943/MMS.2024.55.52.004>; <https://elibrary.ru/awjbku>
68. **Зарипов, О. Г.** Влияние факторов среды и полиморфизма гена DGAT1 на изменчивость признаков молочной продуктивности и профиль жирных кислот молока голштинизированных черно-пестрых коров / О. Г. Зарипов [и др.] // *Journal of Agriculture and Environment*. 2024. № 1(41). Номер статьи 16. <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.41.8>; <https://elibrary.ru/cplldx>
69. **Turk, R.** The role of oxidative stress and inflammatory response in the pathogenesis of mastitis in dairy cows / R. Turk [et al.] // *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka*. 2017. Vol. 67(2). P. 91-101. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2017.0201>
70. **Sokol, C. L.** The chemokine system in innate immunity / C. L. Sokol, A. D. Luster // *Cold Spring Harbor perspectives in biology*. 2015. Vol. 7(5). Art. no. a016303. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a016303>
71. **Selvan, A. S.** Molecular characterization and combined genotype association study of bovine cluster of differentiation 14 gene with clinical mastitis in crossbred dairy cattle / A. S. Selvan [et al.] // *Veterinary World*. 2016. Vol.9(7). P. 680-684 <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.680-684>
72. **Алексеев, А. А.** Изучение ассоциации полиморфизмов в генах card15 и tlr4 с продуктивностью и количеством соматических М-клеток у коров черно-пестрой породы / А. А. Алексеев, И. В. Виноградова, О. В. Костюнина // *Эффективное животноводство*. 2018. № 1(140). С. 36-37. <https://elibrary.ru/yupnura>
73. **Pokorska, J.** The influence of BoLA-DRB3 alleles on incidence of clinical mastitis, cystic ovary disease and milk traits in Holstein Friesian cattle / J. Pokorska [et al.] // *Molecular Biology Reports*. 2018. Vol. 45(5). P. 917-923. <https://doi.org/10.1007/s11033-018-4238-0>
74. **Абдельманова, А. С.** Оценка полиморфизмов локуса BOLA-DRB3.2 в образцах крупного рогатого скота разных веков / А. С. Абдельманова, Н. В. Бардуков // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2024. № 3(77). С. 71-78. <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2024-3-71-78>; <https://elibrary.ru/cjvqif>
75. **Úsuga-Monroy, C.** Association between genes BOLA-DRB3.2\*8 and BOLA-DRB3.2\*12 with resistance and BOLA-DRB3.2\*16 with susceptibility to infection by bovine leukemia virus / C. Úsuga-Monroy, J. J. Echeverri Zuluaga, A. López-Herrera // *Pakistan Veterinary Journal*. 2016. Vol. 36(4). P. 400-404.
76. **Loat, S.** Allelic diversity at BoLA DRB3 locus and association with predisposition to clinical mastitis in indicus and crossbred cattle / S. Loat [et al.] // *Animal Biotechnology*. 2023. Vol. 34(4). P. 1030-1039 <https://doi.org/10.1080/10495398.2021.2010088>
77. **Кулешова, Е.** Ген BoLA-DRB3 и молочная продуктивность / Е. Кулешова, Н. Ковалюк, М. Бондаренко // *Животноводство России*. 2021. № S2. С. 9-11. <https://doi.org/10.25701/ZZR.2020.58.75.008>; <https://elibrary.ru/spttnh>
78. **Сулимова, Г. Е.** Уникальность костромской породы крупного рогатого скота с позиции молекулярной генетики / Г. Е. Сулимова [и др.] // *Достижения науки и техники АПК*. 2011. № 9. С. 52-54. <https://elibrary.ru/ogbszp>
79. **Johnson M. E.** Factors affecting cheese quality / M. E. Johnson // *Cheese. Chemistry, Physics and Microbiology*. Ed. by P. L. H. McSweeney. - Academic Press, 2025. - P. 633-649. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15956-5.00045-2>
80. **Khan, M. U.** Comprehensive review of enzymes (protease, lipase) in milk: Impact on storage quality, detection methods, and control strategies / M. U. Khan [et al.] // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2025. Vol. 24(3). Art. no. e70164. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70164>
81. **Воронина, О. А.** Минеральные элементы в составе молока коров - мини-обзор / О. А. Воронина, Н. В. Боголюбова, С. Ю. Зайцев // *Сельскохозяйственная биология*. 2022. Т. 57, № 4. С. 681-693 <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.4.681rus>; <https://elibrary.ru/bmbzxd>
82. **Gutiérrez-Reinoso M. A.** A review of inbreeding depression in dairy cattle: current status, emerging control strategies, and future prospects / M. A. Gutiérrez-Reinoso, P. M. Aponte, M. García-Herrerros // *Journal of Dairy Research*. 2022. Vol. 89(1). P. 3-12. <https://doi.org/10.1017/S0022029922000188>
83. **Храмов, А. П.** Теория и практика селекции сельскохозяйственных животных / А. П. Храмов, А. Н. Кривокова, Ф. Р. Бакай // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2023. № 4(75). С. 186-189. <https://elibrary.ru/rixszt>
84. **Webster, J.** Understanding the dairy cow / J. Webster. - Wiley-Blackwell, 2020. -274 p.

85. **Gupta, J. P.** Additive and nonadditive genetic effects on milk production / J. P. Gupta // *Handbook of Milk Production, Quality and Nutrition*. Ed. by Tanmoy Rana. – Academic Press, 2025. – P. 181-191. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-24820-7.00018-3>
86. **San Segundo-Val, I. S.** Introduction to the gene expression analysis / I. S. Segundo-Val, C. S. Sanz-Lozano // *Methods in molecular biology*. 2016. Vol. 1434. P. 29-43. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3652-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3652-6_3)
87. **Наконечный, А. А.** Мочевина в молоке как маркер правильного питания коров и синтеза молочного белка / А. А. Наконечный, А. Л. Дыдыкина // *Молочная промышленность*. 2021. № 7. С. 59-61. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3652-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3652-6_3); <https://elibrary.ru/yenvpe>
88. **Caو, Y.** Molecular mechanisms relating to amino acid regulation of protein synthesis / Y. Cao [et al.] // *Nutrition research reviews*. 2019. Vol. 32(2). P. 183-191. <https://doi.org/10.1017/S0954422419000052>
89. **Лябин, Д. Н.** Идентификация белков, специфически взаимодействующих с 3'-нетранслируемой областью мРНК УВ-1, и исследование влияния белка hnRNP Q на трансляцию мРНК УВ-1 / Д. Н. Лябин [и др.] // *Биохимия*. 2013. Т. 78, № 6. С. 840-850. <https://elibrary.ru/qlideh>
90. **Nailwal, N. P.** Role of intracellular signaling pathways and their inhibitors in the treatment of inflammation / N. P. Nailwal, G. M. Doshi // *Inflammopharmacology*. 2021. Vol. 29. P. 617-640. <https://doi.org/10.1007/s10787-021-00813-y>
91. **Черепанов, Г. Г.** Физиолого-биохимические аспекты регуляции продукции молочного белка у жвачных животных / Г. Г. Черепанов, З. Н. Макара // *Сельскохозяйственная биология*. 2004. Т. 39, № 4. С. 24-36. <https://elibrary.ru/pgcixz>
92. **Мироненко, И. М.** Алгоритмы преобразования молока в сыр / И. М. Мироненко // *Сыроделие и маслоделие*. 2018. № 4. С. 44-47. <https://elibrary.ru/xuklxv>
93. **Скамарохова, А. С.** Оценка воздушно-сухой массы вико-злаковых травосмесей по оптимальности в соотношении нейтрально-детергентной (НДК/ NDF) и кислотнo-детергентной клетчатки (КДК/ ADF) / А. С. Скамарохова // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2020. № 12-1(102). С. 177-181. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.030>; <https://elibrary.ru/zgclrl>
94. **Hodson, L.** The regulation of hepatic fatty acid synthesis and partitioning: The effect of nutritional state / L. Hodson, P. J. Gunn // *Nature Reviews Endocrinology*. 2019. Vol. 15(12). P. 689-700. <https://doi.org/10.1038/s41574-019-0256-9>
95. **Guo, Z.** Impacts of heat stress-induced oxidative stress on the milk protein biosynthesis of dairy cows / Z. Guo [et al.] // *Animals*. 2021. Vol. 11(3). P. 1-14. <https://doi.org/10.3390/ani11030726>
96. **Sarkies, P.** Molecular mechanisms of epigenetic inheritance: Possible evolutionary implications / P. Sarkies // *Seminars in Cell and Developmental Biology*. 2020. Vol. 97. P. 106-115. – DOI 10.1016/j.semcdb.2019.06.005. <https://elibrary.ru/evzbwn>
97. **Dai, W. T.** Transcriptomic profiles of the bovine mammary gland during lactation and the dry period / W. T. Dai [et al.] // *Functional & Integrative Genomics*. 2018. Vol. 18(2). P. 125-140. <https://doi.org/10.1007/s10142-017-0580-x>
98. **Peñagaricano, F.** Effect of maternal methionine supplementation on the transcriptome of bovine preimplantation embryos / F. Peñagaricano [et al.] // *PloS one*. 2013. Vol. 8(8). Art. no. e72302. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072302>
99. **Гусева, Т. А.** Влияние генетических факторов на продуктивные качества коров-первотелок / Т. А. Гусева [и др.] // *Главный зоотехник*. 2024. № 2(247). С. 3-13. <https://doi.org/10.33920/sel-03-2402-01>; <https://elibrary.ru/bxihvr>
100. **Akintan, O. A.** Linking animal feed formulation to milk quantity, quality, and animal health through data-driven decision-making / O. A. Akintan, K. G. Gebremedhin, D. D. Uyeh // *Animals*. 2025. Vol. 15(2). Art. no. 162. <https://elibrary.ru/wkzpsо>
101. **Ганущенко, О.** Современные подходы к нормированию потребностей молочного скота в питательных веществах / О. Ганущенко // *Ветеринарное дело (Минск)*. 2025. № 1. С. 39-44. <https://elibrary.ru/gnomfo>
102. **Widyobroto, B. P.** The impact of balanced energy and protein supplementation to milk production and quality in early lactating dairy cows / B. P. Widyobroto [et al.] // *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*. 2016. Vol. 41(2). P. 83-90. <https://doi.org/10.14710/jitaa.41.2.83-90>
103. **Рядчиков, В. Г.** Распадаемость кормового белка - важный фактор эффективности использования азота и молочной продуктивности лактирующих коров / В. Г. Рядчиков [и др.] // *Эффективное животноводство*. 2019. № 3(151). С. 42-48. <https://elibrary.ru/sjais>
104. **Рядчиков, В. Г.** Изучение влияния защищенных от распада в рубце лизина и метионина, на показатели молочной продуктивности и здоровья высокопродуктивных коров / В. Г. Рядчиков [и др.] // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2020. № 155. С. 194-219. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-155-016>; <https://elibrary.ru/pnmpqw>
105. **Hossain M. E.** Sub-acute ruminal acidosis in dairy cows: Its causes, consequences and preventive measures / M. E. Hossain // *Online Journal of Animal and Feed Research*. 2020. Vol. 10(1). P. 302-312. <https://doi.org/10.51227/ojaf.2020.41>
106. **Евглевский, А. А.** Проблемы здоровья коров в молочном животноводстве: известные и неизвестные аспекты / А. А. Евглевский // *Ветеринария и кормление*. 2022. № 6. С. 25-28. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-6-6>; <https://elibrary.ru/sepply>
107. **Wang, H. R.** Effects of dietary physically effective neutral detergent fiber content on the feeding behavior, digestibility, and growth of 8-to 10-month-old Holstein replacement heifers / H. R. Wang [et al.] // *Journal of dairy science*. 2017. Vol. 100(2). P. 1161-1169.
108. **Полищук, В. В.** Жирнокислотный состав сырого коровьего молока / В. В. Полищук, Л. Ю. Андреева // *Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета*. 2021. № 1. С. 154-157. <https://elibrary.ru/wyuywt>
109. **Urrutia, N. L.** Acetate dose-dependently stimulates milk fat synthesis in lactating dairy cows / N. L. Urrutia, K. J. Harvatine // *The Journal of nutrition*. 2017. Vol. 147(5). P. 763-769. <https://doi.org/10.3945/jn.116.245001>
110. **Харитонов, Е. Л.** Кормовые и метаболические факторы формирования жирнокислотного состава молока у коров / Е. Л. Харитонов, Д. Е. Панюшкин // *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2016. № 2. С. 76-106. <https://elibrary.ru/waacbj>
111. **Логинов, В. А.** Коррекция технологических режимов выработки сыров при изменении качества молока / В. А. Логинов, Е. Т. Линкевич, А. А. Майоров // *Сыроделие и маслоделие*. 2018. № 6. С. 15-17. <https://elibrary.ru/yzkyah>
112. **Карликова, Г. Г.** Биомаркеры молока, отражающие процессы метаболизма в организме коров в период лактации / Г. Г. Карликова, И. А. Лашнева, А. А. Сермягин // *Journal of Agriculture and Environment*. 2024. № 11(51). Номер статьи 15. <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.51.1>; <https://elibrary.ru/foihnh>

113. **Косолапова, В. Г.** Влияние микотоксинов на здоровье и продуктивность молочного скота / В. Г. Косолапова, М. М. Халифа, Х. Г. Ишмуратов // Кормопроизводство. 2021. № 9. С. 38–46. <https://doi.org/10.25685/krm.2021.9.2021.004>; <https://elibrary.ru/izoae>
114. **Чернышков, А. С.** Влияние адсорбента микотоксинов на продуктивность лактирующих коров / А. С. Чернышков, В. А. Каратунов // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2019. № 4-1(34). С. 20–23. <https://elibrary.ru/synjfa>
115. **Кошнеров, А. Г.** Микотоксины - невидимая опасность в продовольственном сырье и продуктах / А. Г. Кошнеров, В. А. Герасимчик // Наше сельское хозяйство. 2023. № 2(298). С. 32–37. <https://elibrary.ru/slpvtd>
116. **Мироненко, И. М.** Функции воды в молоке и сыре / И. М. Мироненко // Сыроделие и маслоделие. 2021. № 6. С. 40–43. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2021-6-40-43>; <https://elibrary.ru/axnkc>
117. **Янковская, В. С.** Анализ опасных факторов при производстве молока-сырья, предназначенного для выработки полутвердых сыров / В. С. Янковская [и др.] // Сыроделие и маслоделие. 2021. № 4. С. 50–52. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2021-4-50-52>; <https://elibrary.ru/ovjezp>
118. **Басонов, О. А.** Технологические свойства молока коров-первотелок голштинской породы в зависимости от содержания и технологии доения / О. А. Басонов [и др.] // Зоотехния. 2023. № 7. С. 20–23. <https://doi.org/10.25708/ZT.2023.45.69.006>; <https://elibrary.ru/qujwkw>
119. **Иль, Е. Н.** Интенсивность обменных процессов в организме высокопродуктивных коров / Е. Н. Иль, М. В. Заболотных // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2019. № 2(51). С. 75–81. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2019-51-2-75-81>; <https://elibrary.ru/hsabwp>
120. **Исабаев, А. Ж.** Показатели, определяющие качество и безопасность молока и молочных продуктов / А. Ж. Исабаев, Г. К. Алиева // Мир Инноваций. 2017. № 1. С. 4–8. <https://elibrary.ru/zglarz>
121. **Hickey, C. D.** The influence of cheese manufacture parameters on cheese microstructure, microbial localisation and their interactions during ripening: A review / C. D. Hickey [et al.] // Trends in food science & technology. 2015. Vol. 41(2). P. 135–148. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.10.006>
122. **Свириденко, Г. М.** Степень зрелости молока как показатель его сыропригодности / Г. М. Свириденко, И. Л. Остроухова, Д. В. Остроухов // Сыроделие и маслоделие. 2025. № 4. С. 12–18. <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2025-4-37>; <https://elibrary.ru/raagt>
123. **Авдеенко, В. С.** Качественный состав молока коров со скрытой формой мастита / В. С. Авдеенко [и др.] // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2018. № 7. С. 12–18. <https://elibrary.ru/xvmcvcn>
124. **Guinee, T. P.** Control and prediction of quality characteristics in the manufacture and ripening of cheese / T. P. Guinee, D. J. O'callaghan // Technology of cheesemaking. Ed. by A. Law, A. Y. Tamime. Blackwell Publishing Ltd, 2010. P. 260–329. <https://doi.org/10.1002/9781444323740.ch8>
125. **Курак, А.** Соматические клетки в молоке - показатель здоровья / А. Курак // Животноводство России. 2019. № 4. С. 51–53. <https://doi.org/10.25701/ZZR.2019.75.82.003>; <https://elibrary.ru/liznce>
126. **Федосова, А. Н.** Качество молока-сырья - важнейший фактор сыроделия / А. Н. Федосова, М. В. Каледина // Молочная река. 2022. № 2(86). С. 42–45. <https://elibrary.ru/puxxdw>
127. **Лозовская, Д. С.** Технологические свойства молозива / Д. С. Лозовская, О. В. Дымар // Молочная промышленность. 2022. № 1. С. 55–57. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-01-55-57>; <https://elibrary.ru/tqmwyw>
128. **Леонтьева, С. А.** Молозиво коров - перспективное сырье для производства пищевых продуктов / С. А. Леонтьева [и др.] // Индустрия питания. 2021. Т. 6, № 2. С. 23–33. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-2-3>; <https://elibrary.ru/xpmbtf>
129. **Лозовская, Д. С.** Определение требований к молозиву-сырью, его технологическая классификация. Разработка базовых технологических подходов к переработке молозива / Д. С. Лозовская, О. В. Дымар // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. 2023. № 18. С. 183–191. <https://elibrary.ru/khtvam>
130. **Афанасьев, М. П.** Белковый состав и технологические свойства молока коров в период завершения лактации / М. П. Афанасьев [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 9. С. 42–44. <https://elibrary.ru/mvusp>
131. **Миронова, А. В.** К вопросу сезонных изменений синергических свойств сычужных сгустков молока для производства сыра / А. В. Миронова [и др.] // Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. 2020. Т. 1, № 1(1). С. 382–386. <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-382-386>; <https://elibrary.ru/bixnip>
132. **Портной, А. И.** Оценка сезонных колебаний состава и свойств молока в условиях северо-восточной зоны Беларуси / А. И. Портной // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2017. № 20-2. С. 20–27. <https://elibrary.ru/ynitlb>
133. **Бакиров, Б.** Микробиологические и метаболические аспекты ацидоза рубца у высокопродуктивных коров / Б. Бакиров, Б. Н. Хайитов, Ю. Улугмуродов // Вестник Омского государственного университета. 2021. № 1-2. С. 210–214. [https://doi.org/10.52754/16947452\\_2021\\_1\\_2\\_210](https://doi.org/10.52754/16947452_2021_1_2_210); <https://elibrary.ru/tsykyi>
134. **Горелик, А. С.** Изучение влияния молочного сырья по сезонам года на технологические параметры при производстве мягкого сыра / А. С. Горелик, М. Б. Ребезов, О. В. Горелик // Аграрная наука. 2023. № 9. С. 59–63. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-59-63>; <https://elibrary.ru/jtnxlb>
135. **Ларионов, Г. А.** Химический состав молока коров в осенне-зимний период / Г. А. Ларионов, К. Д. Егорова // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2021. № 3(39). С. 274–279. <https://doi.org/10.36871/vet.san.hygecol.202103006>; <https://elibrary.ru/yfrdil>
136. **Зуев, Н. П.** Факторы, влияющие на молочную продуктивность коров / Н. П. Зуев, В. Ю. Сафонов // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2021. № 2(20). С. 52–55. <https://elibrary.ru/yfrdil>
137. **Симонов, П. Г.** Совершенствование синхронизации половых циклов у коров в условиях интенсивного производства / П. Г. Симонов [и др.] // Ветеринария Кубани. 2024. № 4. С. 20–22. <https://doi.org/10.33861/2071-8020-2024-4-20-22>; <https://elibrary.ru/rplfrm>
138. **Шишкина, Т. В.** Молочная продуктивность коров в зависимости от сезона отела / Т. В. Шишкина [и др.] // Нива Поволжья. 2025. № 1(73). <https://doi.org/10.36461/NP.2025.73.1.020>; <https://elibrary.ru/ptlty>
139. **Наконечный, А. А.** Сезон отела коров как фактор влияния на продуктивность и качество молока / А. А. Наконечный, А. Л. Дыдыкина, А. О. Вязьминов // Молочная промышленность. 2022. № 12. С. 50–52. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-12-50-52>; <https://elibrary.ru/chjvpw>