

РАЗВЕДЕНИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, ГЕНЕТИКА И БИОТЕХНОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ / BREEDING, SELECTION,
GENETICS AND BIOTECHNOLOGY OF ANIMALS

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.48.2>

ВЛИЯНИЕ ГЕНОТИПА ПО ГЕНУ CSN2 НА КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
МОЛОКА КОРОВ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ

Научная статья

Корнелаева М.В.^{1,*}, Карликова Г.Г.², Сермягин А.А.³

¹ORCID : 0000-0001-5674-6694;

²ORCID : 0000-0002-9021-1404;

³ORCID : 0000-0002-1799-6014;

^{1, 2, 3}Федеральный исследовательский центр животноводства имени Л. К. Эрнста, Дубровицы, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (marikornelaeva[at]yandex.ru)

Аннотация

С увеличением мирового спроса на потребление продуктов возрастает интерес к исследованиям в области молокоперерабатывающей промышленности. Полиморфизм бета-казеина отражается на содержании жира и казеина в молоке, и в целом на процессе пищеварения, что играет существенную роль в определении стоимости молока. Целью данного исследования является изучение взаимосвязи генотипа по гену бета-казеина (CSN2) с качественными и количественными характеристиками молока коров голштинской породы. Материалом для исследований являлось молоко 249 коров голштинской породы, отобранное во время ежемесячного контрольного доения за период с октября 2022 года по апрель 2024 года. Анализ полученных данных показал, что в выборке 52% животных были носителями генотипа A1A2, 33% – A2A2 и 15% – A1A1. Наличие аллеля A2 в составе генотипа незначительно снижает термостабильность, но благоприятно влияет на сычужную свертываемость молока. Коровы с генотипом A1A1 выгодно отличаются по суточному удою от гомозиготных по аллелю A2 ($P \leq 0,01$). Технологические показатели, такие как точка замерзания молока и кислотность, достоверно не были связаны с генотипом по гену бета-казеина, однако животные с генотипом A2A2 имели превосходство по содержанию жира, лактозы, сухого вещества и количеству соматических клеток в молоке. Паратипические и технологические факторы, такие как день лактации, номер лактации и месяц отбора пробы молока, оказывают большее влияние на качественный и количественный состав молока, чем генотип по гену CSN2.

Ключевые слова: бета-казеин, качественный состав молока, термостабильность, сычужная свертываемость, голштинская порода.

INFLUENCE OF CSN2 GENOTYPE ON QUALITATIVE AND QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF
HOLSTEIN COWS' MILK

Research article

Kornelaeva M.V.^{1,*}, Karlikova G.G.², Sermyagin A.A.³

¹ORCID : 0000-0001-5674-6694;

²ORCID : 0000-0002-9021-1404;

³ORCID : 0000-0002-1799-6014;

^{1, 2, 3}Federal Research Center for Animal Husbandry named after L.K. Ernst, Dubrovitsy, Russian Federation

* Corresponding author (marikornelaeva[at]yandex.ru)

Abstract

With the increasing global demand for product consumption, there is a growing interest in research in the milk processing industry. Beta-casein polymorphism affects the fat and casein content of milk, and in general the digestive process, which plays a significant role in determining the value of milk. The aim of this study is to examine the relationship between the genotype for beta-casein gene (CSN2) and qualitative and quantitative characteristics of milk of Holstein cows. The material for the study was milk of 249 Holstein cows sampled during monthly control milking for the period from October 2022 to April 2024. Analysis of the obtained data showed that in the sample, 52% of animals were carriers of A1A2 genotype, 33% – A2A2 and 15% – A1A1. The presence of the A2 allele as part of the genotype slightly reduces thermostability, but favourably affects rennet coagulation of milk. Cows with A1A1 genotype compare favourably in daily milk yield with those homozygous for A2 allele ($P \leq 0.01$). Technological parameters such as milk freezing point and acidity were not significantly associated with genotype for beta-casein gene, but animals with A2A2 genotype had superiority in fat content, lactose, dry matter and somatic cell count in milk. Paratypic and technological factors such as day of lactation, lactation number and month of milk sampling have a greater influence on milk quality and quantity than genotype for the CSN2 gene.

Keywords: beta-casein, milk quality composition, thermostability, rennet coagulation, Holstein breed.

Введение

Значение коровьего молока как жизненно важной составляющей сбалансированного питания человека лежит в содержании питательных веществ, включающих белки, углеводы, минералы и витамины. Спрос на молочные продукты постоянно растет, что повышает интерес к исследованиям в области переработки молочных продуктов. Содержание белка в молоке, наряду с жиром, является решающим фактором в определении экономической

эффективности этой отрасли. Кроме того, прибыль молочного скотоводства как сектора животноводства зависит не только от общего содержания белка, но и от его состава.

Одним из ключевых компонентов молочного белка казеина является бета-казеин, который составляет примерно 38% от общего содержания. Исследования показали, что полиморфизм бета-казеина влияет на состав жира и казеина в молоке, а также на пищеварительный процесс. Ген CSN2, кодирующий бета-казеина, показывает 12 аллельных вариантов, из которых варианты A1 и A2 – наиболее часто встречающиеся. Исследования показали, что из-за различий в их первичных белковых структурах, пищеварительные ферменты взаимодействуют с бета-казеинами A1 и A2 по-разному. В частности, в процессе переваривания белка A1 образуется пептид БКМ-7, который, согласно исследованиям молока A2, связан с различными хроническими заболеваниями и может нарушать функции кишечника и центральной нервной системы.

Селекционно-племенная работа в настоящее время направлена на получение коров, обладающих гомозиготным генотипом с двумя аллелями A2. Соотношение аллелей CSN2 различается в зависимости от породы коров. Так, европейское, американское, австралийское и новозеландское коровье молоко, в основном содержит аллельный вариант A1, тогда как африканский и азиатский крупный рогатый скот до сих пор производит молоко, содержащее исключительно бета-казеин A2. Соотношение варианта бета-казеина A2 к A1 у гернзейской породы составляет 9,6:0,4, симментальской – 7,1:2,9, шортгорнской и джерсейской – 1:1, швицкой – 6,6:3,4, голштинской от 3,9:6,1 до 5,5:4,5 [8], [16], [17], [18].

Исследователи обнаружили значительное количество носителей генотипа CSN2A2A2 в отечественных стадах черно-пестрой и голштинской пород – до 76% от общего числа животных [1], [6], [7], [10]. В Московской области среди исследуемой популяции быков-производителей голштинской породы частота встречаемости генотипа CSN2A1A1 составляла 20,4%, что значительно меньше, чем для других генотипов – 39,8% как для генотипа A1A2, так и для A2A2 [11].

В некоторых исследованиях был сделан вывод о том, что коровы с генотипом CSN2A1A1 имеют более высокий уровень удоя за лактацию, чем коровы с генотипами CSN2A1A2 и CSN2A2A2 [2], [11]. Однако существуют исследования, в которых были получены отличные результаты, показывающие, что наибольший удой имели гетерозиготные животные [3], [9], а также животные с генотипом CSN2A2A2 [3], [5], [12], [14].

Вопрос о влиянии генотипа по гену CSN2 на массовую долю жира (МДЖ) и массовую долю белка (МДБ) вызывает меньше споров, однако исследователи имеют разные мнения по этому поводу. Некоторые исследователи показывают, что коровы с генотипом CSN2A2A2 имеют наибольшую МДЖ и МДБ [12], в то время как другие указывают на недостоверную разницу по одному из этих признаков [2], [14]. В работе Филипенковой Г.В. и соавторов была обнаружена тенденция в пользу особей с генотипом CSN2A2A2 в отношении МДЖ и МДБ в молоке, однако генотип CSN2A1A1 быков был связан с более высокой оценкой по удою и суммарной молочной продукции их дочерей [11].

Таким образом, современный рынок молочных продуктов проявляет интерес к продвижению и популяризации молока A2, что приводит к увеличению потребности в росте численности в хозяйствах коров-носителей аллеля A2. Вместе с тем, основные показатели продуктивности крупного рогатого скота необходимо учитывать в комплексе, поэтому связь генотипа по гену CSN2 с продуктивностью представляет научный и практический интерес.

Цель данного исследования – изучение взаимосвязи генотипа по гену бета-казеина (CSN2) с качественными и количественными характеристиками молока коров голштинской породы.

Методология и методы исследований

Материал исследования – молоко 249 коров голштинской породы, отобранное в ежемесячное контрольное доение за период с октября 2022 года по апрель 2024 года.

На приборе инфраспектрометрического анализа Combi FOSS F+7 DSCC проанализирован компонентный состав отобранных проб молока по следующим показателям: массовая доля жира (МДЖ), массовая доля белка (МДБ), содержание лактозы (МДЛ), сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО), сухого вещества (СВ), казеина (МДК), точки замерзания (ТЗ), кислотности (рН), количества (ККК) и дифференциации (ДККК) соматических клеток.

Для определения качественных технологических характеристик молока, проведены исследования на термостабильность (алкогольная проба ГОСТ 25228-82) и сычужную свертываемость (сычужно-бродильная проба ГОСТ 9225-84). Для получения количественных показателей технологических свойств молока, после оценки качества молока на сычужную свертываемость, отобран и взвешен полученный сгусток для определения процентного выхода сгустка.

В лаборатории молекулярной генетики сельскохозяйственных животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста было проведено генотипирование коров экспериментального стада с использованием чипов высокой плотности от Illumina (150000 SNP; 50000 SNP; «Illumina Inc.»), США).

Результаты и их обсуждение

Результаты молекулярно-генетического тестирования животных голштинской породы позволили выявить полиморфизм гена бета-казеина CSN2 и исследовать его влияние на молочную продуктивность.

Анализ полиморфизма гена CSN2 у исследуемых животных показал, что в выборке большинство коров (51,8%) являются носителями генотипа A1A2, 33,3% – A2A2 и 14,9% – A1A1 (рис.1). Частота встречаемости аллелей A1 и A2 составила 0,408 и 0,592, соответственно. Коэффициент гомозиготности составил 1,93, $\chi^2 - 1,34$ ($P \leq 0,001$).

Полученные результаты подтверждают соотношение варианта бета-казеина A2 к A1, характерное для голштинской породы крупного рогатого скота и отраженное в исследованиях других авторов [4], [13], [17], [18].

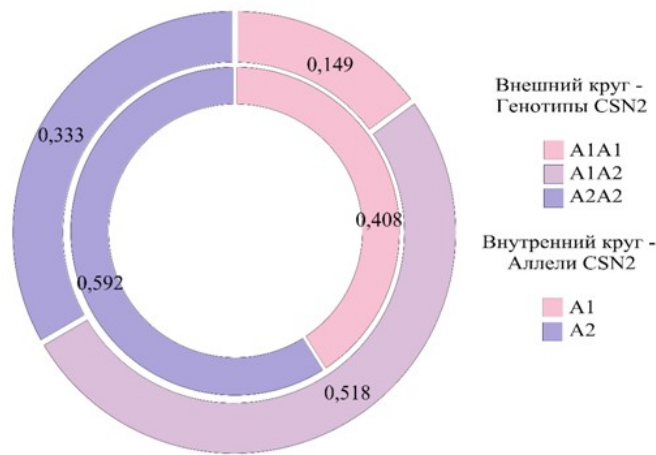


Рисунок 1 - Распределение частот аллелей и генотипов по гену CSN2 в исследуемой популяции
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.48.2.1>

Сыропригодность – это комплексный показатель, который включает сенсорные, физико-химические, биологические и санитарно-гигиенические характеристики. Мы провели оценку качества молока у животных с разными генотипами по гену CSN2, чтобы определить влияние генотипов на качественные показатели молока (рис.2). Термостабильность молока коров с генотипом A1A1 достоверно выше, чем в других группах (A1A1 к A1A2 при $P \leq 0,001$; A1A1 к A2A2 – $P \leq 0,01$). Доля пригодного для переработки молока у животных с генотипом A1A1 выше, чем у животных с другими генотипами. Так, рассматривая молоко от коров разных генотипов по гену бета-казеина, процент проб пригодного (1 и 2 класса по алкогольной пробе) и непригодного (3 и ниже класса по алкогольной пробе) к переработке молока составлял 37,5/62,5%, соответственно, от животных с генотипом A1A1, 29,6/70,4% – с генотипом A1A2, 29,1/70,9% – с генотипом A2A2.

При изучении сычужной свертываемости молока наблюдалась обратная ситуация. При сравнении молока коров с генотипами A1A1-A2A2-A1A2, была замечена тенденция «худший-лучший» класс по сычужно-бродильной пробе. Однако лишь между группами животных с генотипами A1A1 и A1A2 была обнаружена достоверная разница ($P \leq 0,01$).

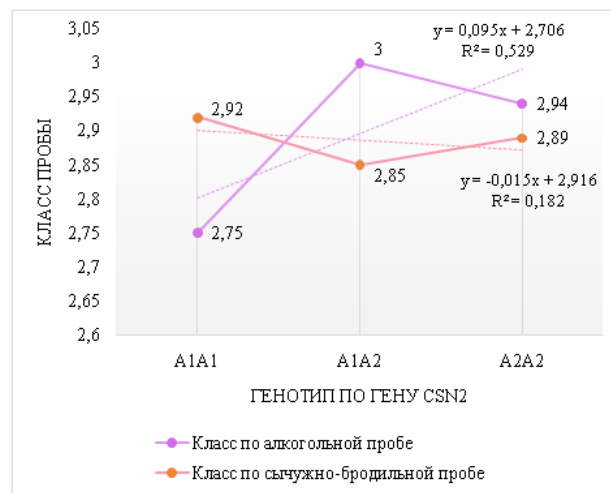


Рисунок 2 - Влияние генотипа по гену CSN2 на качественные показатели молока
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.48.2.2>

Примечание: термостабильность, сычужная свертываемость

Между группами коров с разными генотипами не оказалось достоверных различий в процентном выходе сгустка из молока. При этом наблюдалась слабая тенденция к увеличению массы сгустка при наличии в генотипе аллеля A2 (рис.3).

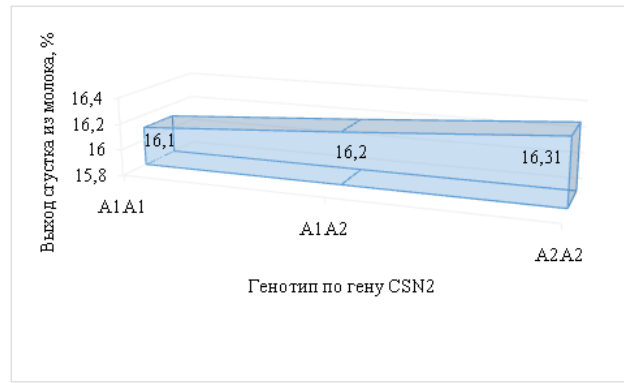


Рисунок 3 - Влияние генотипа по гену CSN2 на выход сгустка из молока
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.48.2.3>

Сравнительное исследование суточного удоя коров разных генотипов по гену CSN2 показало, что животные с генотипом A1A1 достоверно отличаются от гомозиготных по аллелю A2 (табл. 1). Уровень суточного удоя гетерозиготных животных достоверно не различался с показателями коров других групп.

Таблица 1 - Качественный состав молока в зависимости от генотипа коров по гену CSN2

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.48.2.4>

	Генотип по гену CSN2		
	A1A1	A1A2	A2A2
Число проб	279	912	499
Суточный удой, кг	25,02±0,38	24,28±0,22	23,75±0,27 ^{b/**}
Массовая доля жира, %	4,31±0,04	4,27±0,02	4,41±0,03 ^{b/*,c/****}
Массовая доля белка, %	3,48±0,02	3,47±0,01	3,48±0,02
Массовая доля лактозы, %	4,86±0,01	4,78±0,01 ^{a/****}	4,88±0,01 ^{c/****}
Содержание СОМО, %	9,18±0,02	9,17±0,02	9,19±0,02
Содержание сухого вещества, %	13,24±0,05	13,22±0,03	13,37±0,04 ^{b/*,c/**}
Массовая доля казеина, %	2,80±0,02	2,79±0,01	2,80±0,01
Точка замерзания молока, ×10 ⁻³ °C	-0,520±0,06	-0,519±0,04	-0,519±0,04
рН, ед	6,58±0,00	6,58±0,00	6,58±0,00
Количество соматических клеток, тыс.ед/мл	1106±124	777±52 ^{a/*}	685±62 ^{b/**}
ДКСК, %	61,84±2,10	62,37±1,03	63,23±1,38

Примечание: группы сравнения генотипов: ^a – A1A1/A1A2; ^b – A1A1/A2A2; ^c – A1A2/A2A2); * – P≤0,05; ** – P≤0,01; **** – P≤0,001

Массовая доля жира в молоке и содержание сухого вещества было значительно выше у коров с генотипом A2A2 по сравнению с животными с генотипами A1A1 и A1A2. Уровень массовой доли белка, включая казеин, и СОМО не зависели от генотипа коров, и не было значимых различий между группами. Уровень лактозы был значительно ниже (P≤0,001) в молоке гетерозиготных животных по сравнению с гомозиготными по гену CSN2.

Важные показатели для определения фальсификации и пригодности молока для переработки – точка замерзания молока и кислотность не зависели от генотипа по гену бета-казеина.

Количество соматических клеток является важным показателем качества молока, который отражает состояние здоровья животного и правильность его кормления. Высокие значения этого показателя увеличивают время

свертывания молока и ухудшают качество сгустка. У животных, в генотипе которых присутствует аллель A2, было обнаружено значимо меньшее количество соматических клеток в молоке ($P \leq 0,05$; $P \leq 0,01$).

Для изучения влияния различных факторов на качественный состав молока был проведен однофакторный дисперсионный анализ. В качестве категориальных факторов были определены генотип по гену CSN2, день и номер лактации животного, месяц, когда была отобрана проба (табл. 2).

Анализ подтвердил значимое влияние генотипа по гену CSN2 на термостабильность и свертываемость молока ($P \leq 0,01$, $P \leq 0,05$, соответственно). Однако генотип не оказывал влияния на процентный выход сгустка из молока, в то время как день и номер лактации коровы достоверно влияли на этот показатель ($P \leq 0,01$). Месяц отбора достоверно влиял на все качественные показатели молока ($P \leq 0,001$).

Таблица 2 - Влияние разных факторов на технологические свойства молока

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.48.2.5>

Фактор	Признак								
	Класс по алкогольной пробе			Класс по сычужно-бродильной пробе			Процентный выход сгустка из молока, %		
	F-критерий	p-value	R ²	F-критерий	p-value	R ²	F-критерий	p-value	R ²
Генотип по гену CSN2	5,258	0,005**	0,008	4,290	0,014*	0,007	0,670	0,512	0,001
День лактации	0,993	0,521	0,229	0,990	0,520	0,229	1,30	0,002**	0,280
Номер лактации	0,158	0,959	0,001	0,240	0,919	0,001	3,635	0,006**	0,017
Месяц отбора проб	11,330	0,000***	0,128	8,660	0,000***	0,101	16,710	0,000***	0,178

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

Влияние генотипа по гену CSN2 было отмечено для МДЖ и МДБ, сухого вещества, казеина. Уровень суточного удоя, содержание лактозы и СОМО, точка замерзания и кислотность молока не зависели от генотипа коровы. День лактации животного, когда было отобрано молоко, влиял на МДЖ, МДБ, СОМО, СВ и содержание казеина в молоке. Этот категориальный фактор не влиял на уровень суточного удоя, содержание лактозы, а также точку замерзания и кислотность. Номер лактации коровы влиял на все исследуемые признаки, кроме кислотности молока. Месяц отбора оказывал влияние на все показатели количественного и качественного состава молока, а также на уровень суточного удоя.

Помимо фактора самого животного, на количество соматических клеток и их дифференциацию влияли внешние факторы, за исключением дня лактации.

Заключение

Распределение аллелей по гену CSN2 составляет 0,408 для A1 и 0,592 для A2. Среди 249 исследуемых животных, большинство (51,8%) имели генотип A1A2, 33,3% – A2A2 и 14,9% – A1A1.

Различие в генотипах по гену CSN2 не имело достоверного прямого влияния на качественные характеристики молока. Однако было отмечено, что наличие аллеля A2 в генотипе коров незначительно снижало уровень термостабильности молока, но благоприятно влияло на сычужную свертываемость.

Технологические показатели, такие как точка замерзания молока и кислотность, не были достоверно связаны с генотипом по гену CSN2. Однако животные с генотипом A2A2 показали превосходство по содержанию жира, лактозы, сухого вещества и количеству соматических клеток в молоке.

Было выявлено, что на качественный и количественный состав молока большее влияние оказывают паратипические и технологические факторы, такие как день лактации, номер лактации и месяц отбора пробы. Комплексная работа со стадом, учитывая влияние внешних и генетических факторов, поможет значительно повысить производственный потенциал отечественных стад в области количественного и качественного состава молока.

Финансирование

Исследования выполнены в рамках темы ГЗ Минобрнауки № FGGN-2024-0013, регистрационный номер – 124020200029-4.

Funding

The research was carried out within the framework of the theme of the State Order of the Ministry of Education and Science No. FGGN-2024-0013, registration number – 124020200029-4.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

- Беган М.А. Полиморфизм генов лептина, тиреоглобулина и бета-казеина у голштинских коров / М.А. Беган, Я.А. Хабибрахманова, Л.А. Калашникова [и др.] // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. — 2014. — Т.3. — №7. — С. 487-491.
- Валитов Ф.Р. Ассоциация полиморфизма гена бета-казеина с молочной продуктивностью коров плановых пород Республики Башкортостан / Ф.Р. Валитов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. — 2017. — Т.63. — №1. — С. 207-209.
- Глинская Н.А. Полиморфизм гена бета-казеина (CSN2) и анализ биохимического состояния крупного рогатого скота белорусской черно-пестрой породы / Н.А. Глинская, Е.С. Сильченко, В.В. Николаева [и др.] // Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук: навучна-практычны журнал. — 2021. — №1. — С. 72-77.
- Горлов И.Ф. Бета-казеин: известный, но не познанный / И.Ф. Горлов, О.В. Сычева, Л.В. Кононова // Молочное и мясное скотоводство. — 2016. — №6. — С.18-19.
- Ковалюк Н.В. Влияние CSN2 генотипа на молочную продуктивность коров / Н.В. Ковалюк, Ю.Ю. Шахназарова, В.В. Юницкая // Сборник научных трудов КНЦЗВ. — 2019. — №3(8). — С. 4-7. — DOI: 10.34617/kg1a.ez25.
- Ковалюк Н.В. Опыт отбора животных-продуцентов молока типа А2 в АО «Агрообъединение Кубань» / Н.В. Ковалюк, В.Ф. Сацук, Н.М. Куликова [и др.] // Эффективное животноводство. — 2019. — №1. — С. 62-63.
- Ковалюк Н.В. Селекция крупного рогатого скота по полиморфному гену бета-казеину в Краснодарском Крае / Н.В. Ковалюк, В.Ф. Сацук, М.А. Ковалюк [и др.] // Генетика и разведение животных. — 2019. — № 1. — С. 22-26. — DOI: 10.31043/2410.2733.2019.1.22.26.
- Кондратьева Т.Н. Производство молока А2 – перспективное направление повышения рентабельности отрасли молочного скотоводства / Т.Н. Кондратьева, М.А. Тимофеева // Сборник Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. — 2020. — С. 246-251.
- Парамонова М.А. Влияние полиморфизма гена бета-казеина на молочную продуктивность коров черно-пестрой породы республики Башкортостан / М.А. Парамонова, Ф.Р. Валитов, Т.В. Кононенко // Материалы Международной научно-практической конференции. — 2021. — С. 38-42.
- Парамонова М.А. Частота встречаемости аллельных вариантов гена бета-казеина коров черно-пестрой породы / М.А. Парамонова, Ф.Р. Валитов, И.Н. Ганиева // Сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции. — 2021. — С. 84-86.
- Филипенкова Г.В. Влияние генотипов по генам κ- и β-казеина на племенную ценность голштинских быков-производителей по признакам молочной продуктивности в популяции Подмосковья / Г.В. Филипенкова, А.А. Сермягин, И.Н. Янчуков [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. — 2021. — №4. — С. 5-10. — DOI: 10.33943/MMS.2021.31.57.002.
- Чаицкий А.А. Оценка реализации биологического потенциала у крупного рогатого скота костромской породы с различными аллельными вариантами гена бета-казеина / А.А. Чаицкий, Н.С. Баранова // Вестник АПК Верхневолжья. — 2021. — №2(54). — С. 22-28. — DOI: 10.35694/YARCX.2021.54.2.004.
- Cendron F. Effects of β- and κ-casein, and β-lactoglobulin single and composite genotypes on milk composition and milk coagulation properties of Italian Holsteins assessed by FT-MIR / F. Cendron, M. Franzoi, M. Penasa [et al.] // Italian Journal of Animal Science. — 2021. — Vol. 20. — № 1. — P. 2243-2253. — DOI: 10.1080/1828051X.2021.2011442.
- Citek, J. Technological properties of cow's milk: correlations with milk composition, effect of interactions of genes and other factors / J. Citek, M. Brzakova, L. Hanusova [et al.] // Czech Journal of Animal Science. — 2020. — Vol. 65. — № 1. — P. 13-22. — DOI: 10.17221/150/2019.CJAS.
- Ivankovic, A. Genetic polymorphism and effect on milk production of CSN2 gene in conventional and local cattle breeds in Croatia / A. Ivankovic, M. Pecina, J.Ramljak [et al.] // Mljekarstvo. — 2021. — Vol. 71. — No 1. — P. 3-12. — DOI: 10.15567/mljekarstvo.2021.0101.
- Ketto I. A. Effects of milk protein polymorphism and composition, casein micelle size and salt distribution on the milk coagulation properties in Norwegian Red cattle / I. A. Ketto, T. M. Knutsen, J. Oyaas [et al.] // International Dairy Journal. — 2017. — Vol. 70. — P. 55-64. — DOI: 10.1016/j.idairyj.2016.10.010.
- Kolenda M. The polymorphism in various milk protein genes in Polish Holstein-Friesian dairy cattle / M. Kolenda, B. Sitkowska // Animals. — 2021. — Vol. 11. — № 2. — P.1-8. — DOI: 10.3390/ani11020389.

18. Ristanic M. Beta-casein gene polymorphism in Serbian Holstein-Friesian cows and its relationship with milk production traits / M. Ristanic, U. Glavinic, B. Vejnovic [et al.] // *Acta Veterinaria-Beograd*. — 2020. — Vol. 70. — No. 4. — P. 497-510. — DOI: 10.2478/acve-2020-0037.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Began M.A. Polimorfizm genov leptina, tireoglobulina i beta-kazeina u golshtinskih korov [Polymorphism of the genes of leptin, thyroglobulin and beta-casein in Holstein cows] / M.A. Began, Ya.A. Khabibrakhmanova, L.A. Kalashnikova [et al.] // *Sbornik nauchnyh trudov Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva i kormoproizvodstva* [Collection of scientific papers of the Stavropol Research Institute of Animal Husbandry and Forage Production]. — 2014. — Vol. 3. — No. 7. — P. 487-491. [in Russian]
2. Valitov F.R. Asociacija polimorfizma gena beta-kazeina s molochnoj produktivnost'ju korov planovyh porod Respubliki Bashkortostan [Association of beta-casein gene polymorphism with milk productivity of cows of planned breeds of the Republic of Bashkortostan] / F.R. Valitov // *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State Agrarian University]. — 2017. — Vol. 63. — No. 1. — P. 207-209. [in Russian]
3. Glinskaya N.A. Polimorfizm gena beta-kazeina (CSN2) i analiz biohimicheskogo sostojanija krupnogo rogatogo skota belorusskoj cherno-pestroj porody [Polymorphism of the beta-casein gene (CSN2) and analysis of the biochemical state of cattle of the Belarusian black-and-white breed] / N.A. Glinskaya, E.S. Silchenko, V.V. Nikolaeva [et al.] // *Vesnik Paleskaga dzjarzhajnaga universitjeta. Seryja pryrodaznaŭchyh navuk: nauchno-prakticheskij zhurnal* [Bulletin of the Belarusian State University. Natural sciences: Scientific and Practical Journal]. — 2021. — No. 1. — P. 72-77. [in Russian]
4. Gorlov I.F. Beta-kazein: izvestnyj, no ne poznannyj [Beta-casein: known but not understood] / I.F. Gorlov, O.V. Sycheva, L.V. Kononova // *Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo* [Dairy and beef cattle breeding]. — 2016. — No. 6. — P. 18-19. [in Russian]
5. Kovalyuk N.V. Vlijanie CSN2 genotipa na molochnuju produktivnost' korov [The influence of the CSN2 genotype on milk productivity of cows] / N.V. Kovalyuk, Yu.Yu. Shakhnazarova, V.V. Yunitskaya // *Sbornik nauchnyh trudov KNCZV* [Collection of scientific papers of the KNCZV]. — 2019. — No. 3(8). — P. 4-7. — DOI: 10.34617/kg1a.ez25. [in Russian]
6. Kovalyuk N.V. Opyt otbora zhivotnyh-producentov moloka tipa A2 v AO "Agroob#edinenie Kuban" [Experience of selection of animals-producers of milk type A2 in JSC "Agroobedinenie Kuban"] / N.V. Kovalyuk, V.F. Satsuk, N.M. Kulikova [et al.] // *Jefferktivnoe zhivotnovodstvo* [Effective animal husbandry]. — 2019. — No.1. — P. 62-63. [in Russian]
7. Kovalyuk N.V. Selekcija krupnogo rogatogo skota po polimorfnomu genu beta-kazeinu v Krasnodarskom Krae [Selection of cattle for the polymorphic beta-casein gene in the Krasnodar Territory] / N.V. Kovalyuk, V.F. Satsuk, M.A. Kovalyuk [et al.] // *Genetika i razvedenie zhivotnyh* [Genetics and animal breeding]. — 2019. — No. 1. — P. 22-26. — DOI: 10.31043/2410.2733.2019.1.22.26. [in Russian]
8. Kondratieva T.N. Proizvodstvo moloka A2 – perspektivnoe napravlenie povyshenija rentabel'nosti otrasli molochnogo skotovodstva [A2 milk production is a promising direction for increasing the profitability of the dairy cattle industry] / T.N. Kondratieva, M.A. Timofeeva // *Sbornik Vserossijskoj nauchno-prakticheskoi konferencii s mezhdunarodnym uchastiem* [Collection of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation]. — 2020. — P. 246-251. [in Russian]
9. Paramonova M.A. Vlijanie polimorfizma gena beta-kazeina na molochnuju produktivnost' korov cherno-pestroj porody respubliki Bashkortostan [The influence of beta-casein gene polymorphism on milk productivity of black-and-white cows of the Republic of Bashkortostan] / M.A. Paramonova, F.R. Valitov, T.V. Kononenko // *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. — 2021. — P. 38-42. [in Russian]
10. Paramonova M.A. Chastota vstrechaemosti allel'nyh variantov gena beta-kazeina korov cherno-pestroj porody [Frequency of occurrence of allelic variants of the beta-casein gene in black-and-white cows] / M.A. Paramonova, F.R. Valitov, I.N. Ganieva // *Sbornik nauchnyh statej po itogam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii* [Collection of scientific articles based on the results of the International Scientific and Practical Conference]. — 2021. — P. 84-86. [in Russian]
11. Filipenkova G.V. Vlijanie genotipov po genam k- i b-kazeina na plemennuju cennost' golshtinskih bykov-proizvoditelej po priznakam molochnoj produktivnosti v populjacii Podmoskov'ja [The influence of genotypes for the k- and b-casein genes on the breeding value of Holstein stud bulls for milk productivity traits in the Moscow region population] / G.V. Filipenkova, A.A. Semyagin, I.N. Yanchukov [et al.] // *Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo* [Dairy and meat cattle breeding]. — 2021. — No. 4. — P. 5-10. — DOI: 10.33943/MMS.2021.31.57.002. [in Russian]
12. Chaitsky A.A. Ocenka realizacii biologicheskogo potenciala u krupnogo rogatogo skota kostromskoj porody s razlichnymi allel'nymi variantami gena beta-kazeina [Evaluation of the implementation of biological potential in Kostroma cattle with different allelic variants of the beta-casein gene] / A.A. Chaitsky, N.S. Baranova // *Vestnik APK Verhnovolzh'ja* [Bulletin of the APK of the Upper Volga region]. — 2021. — No. 2(54). — P. 22-28. — DOI: 10.35694/YARCX.2021.54.2.004. [in Russian]
13. Cendron F. Effects of β - and κ -casein, and β -lactoglobulin single and composite genotypes on milk composition and milk coagulation properties of Italian Holsteins assessed by FT-MIR / F. Cendron, M. Franzoi, M. Penasa [et al.] // *Italian Journal of Animal Science*. — 2021. — Vol. 20. — № 1. — P. 2243-2253. — DOI: 10.1080/1828051X.2021.2011442.
14. Citek, J. Technological properties of cow's milk: correlations with milk composition, effect of interactions of genes and other factors / J. Citek, M. Brzakova, L. Hanusova [et al.] // *Czech Journal of Animal Science*. — 2020. — Vol. 65. — № 1. — P. 13-22. — DOI: 10.17221/150/2019.CJAS.
15. Ivankovic, A. Genetic polymorphism and effect on milk production of CSN2 gene in conventional and local cattle breeds in Croatia / A. Ivankovic, M. Pecina, J. Ramljak [et al.] // *Mljekarstvo*. — 2021. — Vol. 71. — No 1. — P. 3-12. — DOI: 10.15567/mljekarstvo.2021.0101.

16. Ketto I. A. Effects of milk protein polymorphism and composition, casein micelle size and salt distribution on the milk coagulation properties in Norwegian Red cattle / I. A. Ketto, T. M. Knutsen, J. Oyaas [et al.] // *International Dairy Journal*. — 2017. — Vol. 70. — P. 55-64. — DOI: 10.1016/j.idairyj.2016.10.010.
17. Kolenda M. The polymorphism in various milk protein genes in Polish Holstein-Friesian dairy cattle / M. Kolenda, B. Sitkowska // *Animals*. — 2021. — Vol. 11. — № 2. — P.1-8. — DOI: 10.3390/ani11020389.
18. Ristanic M. Beta-casein gene polymorphism in Serbian Holstein-Friesian cows and its relationship with milk production traits / M. Ristanic, U. Glavinic, B. Vejnovic [et al.] // *ActaVeterinaria-Beograd*. — 2020. — Vol. 70. — No. 4. — P. 497-510. — DOI: 10.2478/acve-2020-0037.