

Владислав Андреевич Сарычев<sup>1✉</sup>, Антонина Ивановна Афанасьева<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Россия

<sup>1</sup>Smy-asau@yandex.ru

<sup>2</sup>antonina59-09@mail.ru

## ХАРАКТЕРИСТИКА МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОЛОКА КОРОВ ЧЕРНО-ПЕСТРОЙ ПОРОДЫ С РАЗНЫМИ АЛЛЕЛЬНЫМИ ВАРИАНТАМИ ГЕНА КАППА-КАЗЕИНА (CSN3)

Цель исследования – изучить уровень молочной продуктивности и качества молока коров алтайской популяции голштинизированной черно-пестрой породы в связи с различными вариантами гена каппа-казеина (CSN3). Производственной базой для генетических исследований послужил племенной завод АО «Учхоз «Пригородное», расположенный в г. Барнауле. Для изучения однонуклеотидного полиморфизма (SNP) гена CSN3 нами были отобраны образцы крови от 100 коров племенного ядра в возрасте 2–3-й лактации. Детекция CSN3 SNP rs 43703017 (g.87390632A>G; Ser176Gly) проводилась методом ПЦР в реальном времени. Установлено, что часто встречающимся генотипом каппа-казеина в стаде алтайской популяции крупного рогатого скота черно-пестрой породы является CSN3AA – (57,1 ± 5,92) %, а наиболее частой аллелью CSN3A – (74,3 ± 3,69) %. Аллель CSN3<sup>B</sup> и генотип CSN3<sup>BB</sup> встречается у (25,7 ± 3,69) и (8,6 ± 0,34) % соответственно. Анализ продуктивных показателей животных в зависимости от структурных различий в гене CSN3 показал, что несмотря на тенденцию к увеличению удоя у коров-носительниц гетерозиготного генотипа CSN<sup>AB</sup> лучшими сыродельческими качествами обладает молоко, полученное от животных с генотипом CSN<sup>BB</sup>, в котором содержится больше жира на 0,01; 0,04 % и белка на 0,19; 0,11 % по сравнению с аналогичными показателями у носителей генотипов CSN<sup>AA</sup> и CSN<sup>AB</sup>. Наибольшее содержание сухого вещества в молоке и СОМО также отмечено у животных носителей генотипа CSN<sup>BB</sup> – 13,24 и 8,72 %. Скорость ферментативного (сычужного) свертывания молока была выше у животных с генотипом CSN<sup>BB</sup> на 6,6 и 15,8 % соответственно, чем у коров-носителей генотипов CSN<sup>AA</sup> и CSN<sup>AB</sup>. Это делает молоко, полученное от животных с генотипом CSN<sup>BB</sup>, наиболее выгодным для производства сыра.

**Ключевые слова:** каппа-казеин, CSN3, молоко, жирномолочность, белковомолочность, сыропригодность

**Для цитирования:** Сарычев В.А., Афанасьева А.И. Характеристика молочной продуктивности и технологических свойств молока коров черно-пестрой породы с разными аллельными вариантами гена каппа-казеина (CSN3) // Вестник КрасГАУ. 2024. № 5. С. 167–176. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-5-167-176.

**Благодарности:** выражаем благодарность Министерству сельского хозяйства Алтайского края за предоставление гранта (№ 122080300001-5), в рамках которого была создана лаборатория ДНК-диагностики животных ФГБОУ ВО Алтайского ГАУ.

Vladislav Andreevich Sarychev<sup>1✉</sup>, Antonina Ivanovna Afanasyeva<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Altai State Agrarian University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup>Smy-asau@yandex.ru

<sup>2</sup>antonina59-09@mail.ru

## CHARACTERISTICS OF MILK PRODUCTIVITY AND MILK TECHNOLOGICAL PROPERTIES FROM BLACK-AND-WHITE COWS WITH DIFFERENT ALLELIC VARIANTS OF THE KAPPA-CASEIN GENE (CSN3)

The purpose of research is to study the level of milk productivity and quality of milk of cows of the Altai population of the Holstein black-and-white breed in connection with various variants of the kappa-casein gene (CSN3). The production base for genetic research was the breeding plant of Uchkhoz Prigorodnoye JSC, located in Barnaul. To study single nucleotide polymorphism (SNP) of the CSN3 gene, we collected blood samples from 100 cows of the breeding core at the age of 2–3 lactation. Detection of CSN3 SNP rs 43703017 (g.87390632A>G; Ser176Gly) was carried out by real-time PCR. It has been established that the most common kappa-casein genotype in the herd of the Altai population of black-and-white cattle is CSN3<sup>AA</sup> – (57.1 ± 5.92) %, and the most common allele is CSN3<sup>A</sup> – (74.3 ± 3.69) %. The CSN3<sup>B</sup> allele and the CSN3<sup>BB</sup> genotype occur in (25.7 ± 3.69) and (8.6 ± 0.34) %, respectively. Analysis of the productive parameters of animals depending on structural differences in the CSN3 gene showed that despite the tendency to increase milk yield in cows carrying the heterozygous genotype CSN<sup>AB</sup>, milk obtained from animals with the CSN<sup>BB</sup> genotype, which contains 0.01 more fat, has the best cheese-making qualities; 0.04 % and protein by 0.19; 0.11 % compared to similar indicators in carriers of the CSN<sup>AA</sup> and CSN<sup>AB</sup> genotypes. The highest content of dry matter in milk and SOMO was also observed in animal carriers of the CSN<sup>BB</sup> genotype – 13.24 and 8.72 %. The rate of enzymatic (rennet) milk coagulation was higher in animals with the CSN<sup>BB</sup> genotype by 6.6 and 15.8 %, respectively, than in cows carrying the CSN<sup>AA</sup> and CSN<sup>AB</sup> genotypes. This makes milk obtained from animals with the CSN<sup>BB</sup> genotype the most profitable for cheese production.

**Keywords:** kappa casein, CSN3, milk, milk fat content, milk protein content, cheese suitability

**For citation:** Sarychev V. A., Afanasyeva A.I. Characteristics of milk productivity and milk technological properties from black-and-white cows with different allelic variants of the kappa-casein gene (CSN3) // Bulliten KrasSAU. 2024;(5): 167–176 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-5-167-176.

**Acknowledgments:** we express our gratitude to the Ministry of Agriculture of the Altai Region for providing a grant (№ 122080300001-5) within the framework of which the laboratory for DNA diagnostics of animals of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Altai State Agrarian University was equipped.

**Введение.** В Алтайском крае на долю молочного скотоводства приходится более половины от всего имеющегося поголовья крупного рогатого скота, поэтому оно служит основным фактором роста производства продуктов животноводства. В связи с этим развитие молочной отрасли является ключевым направлением для экономики края и невозможно без улучшения качества сырья, которое зависит от содержания белка в молоке. Белкомолочность во многом детерминирована генетическими факторами. Поэтому для ее повышения необходимо применение методов, позволяющих точно идентифицировать животных с желаемыми наследственными характеристиками, что в настоящее время возможно благодаря маркерной селекции [1–3].

До 80 % белков молока приходится на каппа-казеин. По химической структуре являясь фосфопротеином, он участвует в образовании мицелл молока, поэтому напрямую влияет на его сычужную свертываемость и термоустойчи-

вость. Степень и сила этого влияния определяется полиморфизмом гена CSN3, кодирующего структуру каппа-казеина.

Из десяти идентифицированных на настоящий момент аллелей гена CSN3 у голштинизированного скота чаще всего встречаются два: А и В. Согласно данным отечественных и зарубежных исследователей, такие характеристики, как больший выход твердых и полутвердых сыров, лучшая свертываемость и более высокий процент белка в молоке, как правило, ассоциируются с В-аллелью [4–9].

Однако ряд исследований по выявлению ассоциативных связей между генетическими вариантами каппа-казеина и составом молока имеют несколько противоречивые результаты [10, 11]. Так, в некоторых популяциях не установлено достоверных и статистически значимых связей между химическим составом молока, его технологическими свойствами и полиморфизмом гена каппа-казеина [12]. Обусловлено это

тем, что показатели молочной продуктивности кодируются множеством генов, и у различных популяций крупного рогатого скота фланирующие гены, с неизвестной функцией, могут быть несцепленными с генами QTL, специфическими аллелями или гаплотипами в маркерном локусе.

В связи с этим определение и анализ ассоциативных связей между полиморфизмом генов и продуктивными показателями в конкретной популяции животных, характеризующейся генетическими особенностями, является важным шагом для внедрения маркера вспомогательной селекции в практику селекционно-племенной работы.

Поэтому проведение генетического мониторинга алтайской популяции черно-пестрого скота является важным условием для улучшения технологических свойств молока. Особенно важна идентификация полиморфизма гена каппа-казеина. На настоящий момент на территории Алтайского края такой мониторинг в отношении маточного поголовья не проводился.

**Цель исследования** – изучить уровень молочной продуктивности и качество молока коров алтайской популяции голштинизированной черно-пестрой породы в связи с различными вариантами гена каппа-казеина (CSN3).

**Материал и методы.** Производственной базой для генетических исследований послужил племенной завод АО «Учхоз «Пригородное», расположенный в г. Барнауле. Из числа животных племенного ядра были отобраны 100 коров в период 2-3-й лактации. ДНК для генетических исследований была получена из образцов цельной крови с использованием набора реагентов «ДНК-экстран-2».

Генетические исследования проведены в «Лаборатории ДНК-диагностики животных» ФГБОУ ВО Алтайского ГАУ. Детекция SNP rs43703017 (g.87390632A>G; Ser176Gly) проводилась методом ПЦР в реальном времени с использованием реактивов для молекулярно-биологических исследований производства ООО «ДНК-синтез» (Россия).

Данные по уровню молочной продуктивности получены из базы данных ИАС «Селекс». Для оценки технологических свойств молока в период контрольной дойки в соответствии с ГОСТ 13928-84, ГОСТ 26809-86, ГОСТ 3622-68 были отобраны пробы молока.

Химический состав молока был определен с помощью автоматизированного измерительного

комплекса «Лактан-700». Анализ массовой доли жира, массовой доли белка, массовой доли сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО) и плотности в молоке проведен в соответствии с ГОСТ Р 8.563-96. Термоустойчивость молока определяли согласно ГОСТ 25228-82. Сычужная свертываемость молока была установлена по прописи З.Х. Диланяна [13]; активную кислотность молока определяли по ГОСТ 32892-2014. Определение титруемой кислотности молока проводили по ГОСТ 3624-92 при помощи потенциометрического анализатора.

Пересчет удоя с учетом базисной жирности проводили по ГОСТ Р 52054-2003 по базисной общероссийской норме массовой доле жира (3,4 %) и белка (3,0 %). Применялась следующая формула:

$$M_{жб} = M_{ф} \times Ж_{ф} \times Б_{ф} / Ж_{б} \times Б_{б},$$

где  $M_{жб}$  – условное значение массы нетто молока, кг;  $M_{ф}$  – фактическое значение массы нетто молока, кг;  $Ж_{ф}$  – фактическое значение массовой доли жира, %;  $Б_{ф}$  – фактическое значение массовой доли белка, %;  $Ж_{б}$  – базисная общероссийская норма массовой доли жира, %;  $Б_{б}$  – базисная общероссийская норма массовой доли белка, %.

Генетический и биостатистический анализ первичных экспериментальных данных осуществлен с помощью пакета программ MS Excel 2010. Установление достоверности межгрупповой разницы проведено согласно критерию Стьюдента.

**Результаты и их обсуждение.** Использование для отбора и подбора животных информации о структуре гена каппа-казеина (CSN3) в процессе селекционно-племенной работы является вспомогательным методом, не отрицающим традиционные подходы.

Первый этап для внедрения этого метода – оценка генетического полиморфизма, которая позволяет проследить направление селекции, определить степень генетического равновесия стада, а главное, понять, достаточен ли уровень полиморфизма изучаемого гена для проведения отбора.

Проведенное генетическое тестирование коров исследуемой популяции позволило установить наличие двух аллелей изучаемого гена: CSN3 A и CSN3 B (рис. 1).

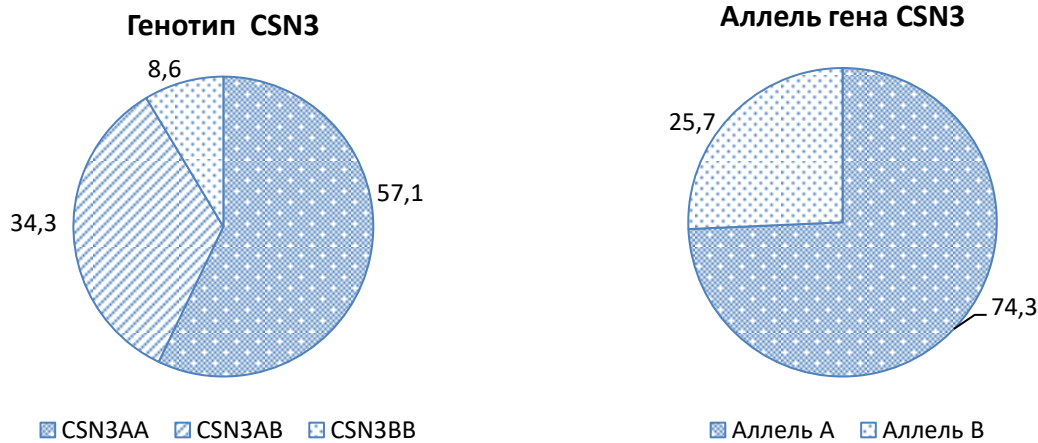


Рис. 1. Распространенность аллелей и генотипов гена CSN3 у коров голштинизированной черно-пестрой породы (АО Учхоз «Пригородное»), %

Наиболее часто встречающимся генотипом каппа-казеина в стаде алтайской популяции черно-пестрого скота является CSN3<sup>AA</sup> – (57,1 ± 5,92) %, а наиболее частотой аллелью CSN3<sup>A</sup> – (74,3 ± 3,69) %. В то время как аллель CSN3<sup>B</sup> и генотип CSN3<sup>BB</sup> встречается у (25,7 ± 3,69) и (8,6 ± 3,35) % соответственно. Гетерозиготный генотип CSN3<sup>AB</sup> занимает промежуточное положение и встречается с частотой (34,3 ± 5,67) %.

Значение критерия  $\chi^2$  для генотипов CSN3 – 0,7499, что указывает на стабильную генетическую структуру и отсутствие статистически значимых сдвигов в изучаемой популяции.

Эти данные соответствуют результатам целого ряда исследований [14–16], указывающих на то, что аллель CSN3<sup>B</sup>, отвечающего за сыропригодность молока, в генотипе отечественных популяций голштинской и черно-пестрой породы крайне низка.

Установленные нами генетические особенности изучаемой популяции по гену каппа-казеина могут быть обусловлены прилитием крови голштинского скота в нескольких поколениях.

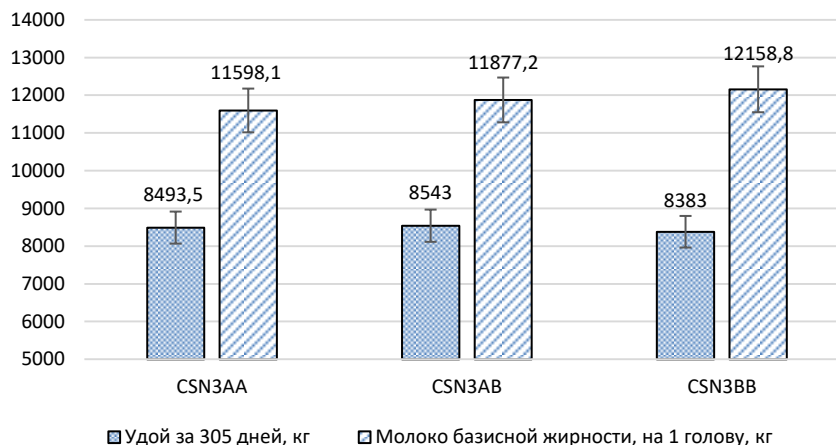
Результатом голштинизации внутрипородных типов черно-пестрого скота стало появление животных с новыми хозяйственно-биологическими и продуктивными свойствами. Таким образом, следующим этапом настоящих исследований было изучение продуктивных показателей коров голштинизированной черно-пестрой породы в зависимости от структурных различий в гене CSN3 (рис. 2).

Анализ продуктивных показателей коров в зависимости от структурных различий в гене CSN3 показал, что наиболее эффективно проя-

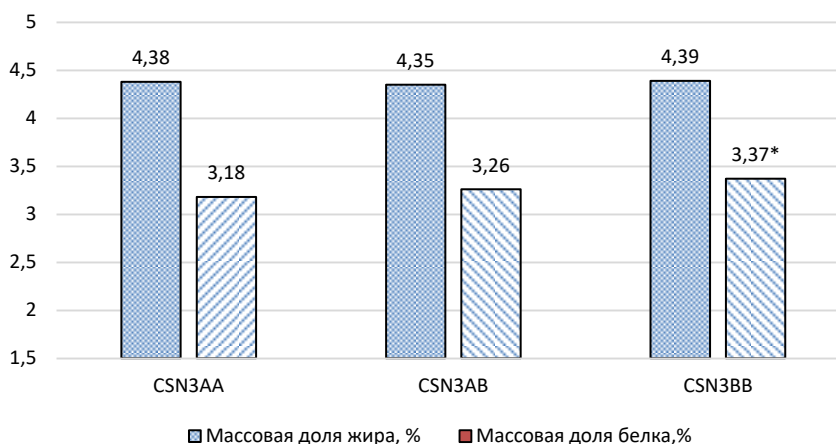
вили себя животные носители В аллеля CSN3. Так, наибольший удой за первые 305 дней лактации отмечен у коров носителей гетерозиготного генотипа CSN3<sup>AB</sup>, что на 0,6 и 1,9 % соответственно выше в сравнении с аналогичным показателем у животных с генотипами CSN3 AA и BB. В то же время большим содержанием жира (на 0,01 и 0,04 %) и белка (на 0,19 (P ≤ 0,05) и 0,11 %) характеризовалось молоко, полученное от коров-носителей гомозиготного генотипа CSN3<sup>BB</sup> соответственно в сравнении с аналогичными показателями носителей генотипов CSN3<sup>AA</sup> и CSN3<sup>AB</sup> (рис. 2).

Мы провели расчет молока в соответствии с базисной общероссийской нормой массовой доли жира (3,4 %) и белка (3,0 %), чтобы была возможность более детально сравнить молочную продуктивность животных с разными показателями жира и белка в молоке. Наибольшее количество молока базисной жирности получено от коров с генотипом CSN3<sup>BB</sup>, что на 4,8 и 2,3 % выше, чем у животных с генотипами CSN3<sup>AA</sup> и CSN3<sup>AB</sup>. Полученные нами результаты согласуются с данными, представленными рядом отечественных и зарубежных исследователей [17–21], которые указали на более высокий процент белка, казеина и жира в молоке, полученного от коров с аллелем каппа-казеина В. Это происходит потому, что изменение нуклеотидной последовательности в аллели CSN3<sup>B</sup> усиливает экспрессию каппа-казеинового белка.

Питательные и технологические свойства молока напрямую зависят от содержания в нем сухого вещества (табл. 1).



а



б

\* $P \leq 0,05$ ; \*\* $P \leq 0,01$ ; \*\*\* $P \leq 0,001$  – разница статистически достоверна в сравнении с генотипом CSN3AA

Рис. 2. Оценка взаимосвязи между генотипами каппа-казеина (CSN3) и молочной продуктивностью коров: а – удой, кг; б – процентное содержание жира и белка в молоке, %

Таблица 1

Взаимосвязь между генотипами каппа-казеина (CSN3) и химико-физическими свойствами молока

Показатель	Генотип		
	CSN3AA	CSN3AB	CSN3BB
Сухое вещество, %	13,18±0,097	13,14 ±0,076	13,24±0,083
СОМО, %	8,69±0,029	8,65±0,018	8,72±0,043
Плотность, кг/м	30,1±0,193	30,1±0,142	30,49±0,259
Лактоза, %	4,78±0,016	4,76±0,012	4,79±0,022
Точка замерзания, °С	-0,529	-0,529	-0,529

Установлено, что у исследуемых животных с генотипом CSN3BB доля сухого вещества в молоке выше на 0,4 и 0,7 % , а СОМО – на 0,03 и

0,07 % соответственно с аналогичными показателями в молоке, полученном от коров-носителей генотипов CSN3AA и CSN3AB.

Более высокое содержание лактозы, сухого вещества и СОМО в молоке коров с генотипом CSN3<sup>BB</sup> также способствует повышению его плотности на 0,39 кг/м, в сравнении с другими генотипами.

Двумя наиболее важными технологическими характеристиками молока являются термоустой-

чивость, т. е. способность выдерживать пастеризацию без коагуляции белков, и сычужная свертываемость (сыропригодность), т. е. способность казеина молока под действием сычужного фермента образовывать достаточно плотные белковые сгустки [22, 23]. Результаты анализа по этим показателям приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Характеристика сычужной свертываемости и термоустойчивости молока в зависимости от генотипа CSN3**

Показатель	Генотип		
	CSN3 <sup>AA</sup>	CSN3 <sup>AB</sup>	CSN3 <sup>BB</sup>
Сычужная свертываемость, мин	33,7 ± 0,77	31,4 ± 0,74	27,1 ± 0,52***
Термоустойчивость, класс	I	I	I

\*P ≤ 0,05; \*\*P ≤ 0,01; \*\*\*P ≤ 0,001 – разница статистически достоверна в сравнении с генотипом CSN3<sup>AA</sup>.

Термоустойчивость молока в зависимости от генотипа CSN3 не отличалась. В то же время в исследованиях некоторых авторов показаны противоречивые результаты. Bruno Garcia Botago с соавторами [24] предположили, что молоко у коров с генотипом каппа-казеина AA более стабильно в тесте на этанол, вместе с тем, согласно данным R.T. Paterson [25], молоко коров с каппа-казеином, экспрессируемым геном CSN3<sup>BB</sup>, более устойчиво к пастеризации.

Сычужная (энзиматическая) свертываемость молока у животных носителей генотипа CSN3<sup>BB</sup> происходит быстрее, чем у коров с генотипами CSN3<sup>AA</sup> и CSN3<sup>AB</sup>, на 6,6 и 15,8 % соответственно. Это делает молоко, полученное от животных с генотипом CSN3<sup>BB</sup>, наиболее выгодным для производства сыра и переработки. Полученные нами данные соответствуют результатам исследований [4], которые также указывают на то, что молоко коров-носителей генотипа BB лучше подходит для производства сыра. Молоко с BB-вариантом каппа-казеина, по разным данным,

имеет меньшее время свертывания (на 10–40 %) и более высокую плотность сгустка (до 140 %), чем молоко, полученное от животных, в генотипе которых присутствует аллель A гена CSN3 [26]. Установленные нами закономерности состава и свойств молока у животных с генотипом CSN3<sup>BB</sup>, вероятно, связаны с более стабильной структурой мицелл за счет уменьшения их размера и увеличением содержания в них каппа-казеина, обладающего переменной степенью гликозилирования. Увеличение соотношения каппа-казеина к общему казеину способствует более активному связыванию белков кальцием, что приводит к ускорению коагуляции и образованию более плотного белкового сгустка [27].

Важным показателем, влияющим на плотность и эластичность сгустка, а также на процесс созревания сыра, является кислотность молока. В связи с этим нами проведена оценка кислотности молока, а полученные результаты были переведены в градусы Тернера (табл. 3).

Таблица 3

**Проверка кислотности молока у коров с разным генотипом CSN3**

Показатель, °Т	Генотип		
	CSN3 <sup>AA</sup>	CSN3 <sup>AB</sup>	CSN3 <sup>BB</sup>
Активная кислотность	7,1	7	7
Титруемая кислотность	20	15	15,5

Сычужная свертываемость, в т. ч. плотность сгустка, во многом зависит от величины активной кислотности молока, так как скорость свертывания прямо пропорциональна снижению pH за счет увеличения степени перехода сычужного энзима в сырную массу [28]. Наибольшая активная кислотность молока установлена у коров с генотипом CSN<sup>AA</sup>, так как ее титруемая кислотность равна 20, это больше, чем у животных с генотипом CSN<sup>AA</sup> и CSN<sup>AB</sup>, на 30 % (табл. 4).

**Заключение.** Таким образом, установлено, что в популяции голштинизированного приобского типа черно-пестрой породы наиболее часто встречающимся генотипом является CSN<sup>AA</sup>, связанный у данных животных с более высоким удоем, в то время как альтернативный генотип CSN<sup>BB</sup>, влияющий на сыропригодность, встречается редко. Поэтому для улучшения качественных показателей молока и повышения его сыропригодности необходимо помимо традиционных критериев подбора учитывать и полиморфизм гена каппа-казеина (CSN3), что позволит получить больше потомков с гомозиготным генотипом CSN3<sup>BB</sup>.

#### Список источников

1. Афанасьева А.И., Сарычев В.А., Плешаков В.А. Аллельный полиморфизм гена каппа-казеина (CSN3) у быков-производителей черно-пестрой породы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 9 (203). С. 44–49. DOI: 10.53083/1996-4277-2021-203-09-44-49. EDN IPEPNK.
2. Афанасьева А.И., Сарычев В.А. Характеристика генетического профиля крупного рогатого скота черно-пестрой породы на основе днк-диагностики по генам каппа-казеина (CSN3), бета-лактоглобулина (BLG), альфа-лактальбумина (LALBA) и лептина (LEP) // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 5 (211). С. 48–52.
3. Столповский Ю.А. Геномная селекция. I. Последние тенденции и возможные пути развития // Генетика. 2020. Т. 56, № 9. С. 1006–1017.
4. Шайдуллин Р.Р. Сыропригодность молока черно-пестрых коров с разными генотипами каппа-казеина и диацилглицерол О-ацил-трансферазы // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2. С. 59–63.
5. Зиновьева Н.А., Гладырь Е.А., Фролкин Д.А. Применение ДНК-диагностики для анализа генов-кандидатов локусов количественных признаков сельскохозяйственных животных // Животноводство XXI век: науч. тр. ВИЖ. Дубровицы: Изд-во ВНИИ животноводства, 2001. Вып. 61. С. 218–224.
6. The influence of CSN3 and LGB polymorphisms on milk production and chemical composition in Romanian Simmental cattle / R.I. Neamt [et al.] // Acta Biochim Pol. 2017. № 64 (3). P. 493–497. DOI: 10.18388/abp.2016\_1454.
7. Curi R.A. Effects of CSN3 and LGB gene polymorphisms on production traits in beef cattle / R.A. Curi [et al.] // Gen. Mol. Biol. 2005. № 28. P. 262–266.
8. Троценко И.В., Иванова И.П. Взаимосвязи между признаками продуктивности у молочного скота // Вестник КрасГАУ. 2022. № 3 (180). С. 93–100. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-3-93-100.
9. Лефлер Т.Ф., Крашенинникова И.В. К вопросу о влиянии генотипа на продуктивные качества коров // Вестник КрасГАУ. 2022. № 5 (182). С. 170–176. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-170-176.
10. Сафина Н.Ю., Юльметьева Ю.Р., Шакиров Ш.К. Влияние комплекса полиморфизма генов к-казеина (CSN3) и пролактина (PRL) на молочную продуктивность коров-первотелок голштинской породы // Молочнохозяйственный вестник. 2018. № 1 (29). С. 74–82. EDN YWNTLG.
11. Лоретц О.Г., Матушкина Е.В. Влияние генотипа каппа-казеина на технологические свойства молока // Аграрный вестник Урала. 2014. № 3 (121). С. 23–26. EDN SGWXRN.
12. Molecular marker technologies and selection for the traits of economic interest / M. Stevanovic [et al.] // Biotech. Anim. Husb. 2000. № 16. P. 25–34.
13. Инихов Г.С., Брюс Н.П. Методы анализа молока и молочных продуктов М.: Пищевая промышленность, 1971. 423 с.
14. Alipanah M., Kalashnikova L., Rodionov G. Kappa-casein genotypic frequencies in Rus-

- sian breeds Black and Red Pied cattle // Iran J. Biotechnol. 2005. № 3. P. 191–194.
15. Загидуллин Л.Р. Полиморфизм генов каппа-казеина и диацилглицерол о-ацилтрансферазы у черно-пестрого скота // Молочнохозяйственный вестник. 2020. № 1 (37). С. 24–34.
  16. Овсянникова Г.В., Бородина Е.Ю. Полиморфизм гена каппа-казеина и его связь с технологическими свойствами молока у красно-пестрого скота // Студенческий научный форум – 2016: мат-лы VIII Междунар. студ. электрон. науч. конф. 2016. URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016025862> (дата обращения: 04.06.2022).
  17. Ярлыков Н.Г., Тамарова Р.В. Использование маркерной селекции для получения сыропригодности молока коров / Рос. гос. аграр. ун-т МСХА им. К. А. Тимирязева, Фонд «Пепсико», Ин-т междунар. образования. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. 115 с.
  18. Молочная продуктивность коров холмогорской породы с разными генотипами молочных белков / И.Е. Багаль [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. 2015. № 7. С. 6–9.
  19. Reproductive quality of cows of different genotypes on Csn3 and Dgat1 genes depending on milk level / A.S. Ganiev [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. № 9 (6). P. 1504–1508.
  20. 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: doctor of philosophy // Pan African university institute for basic sciences, technology and innovation, 2018. P. 145.
  21. Ketto I.A., Qyass J., Andqy T. The influence of milk protein genetic polymorphism on the physical properties of cultured milk // International Dairy Journal. 2018. Vol. 78, № 3. P. 130–137.
  22. O'Connell J., Fox P. Heat-Induced Coagulation of Milk. In book // Advanced Dairy Chemistry – 1 Proteins, 2003. P. 879–945. DOI: 10.1007/978-1-4419-8602-3\_25.
  23. Singh H. Heat stability of milk // International Journal of Dairy Technology. 2004. № 57. P. 111–119.
  24. Bruno G.B., Real de Lima Y.V., Cortinhas C.S. Effect of the kappa-casein gene polymorphism, breed and seasonality on physico-chemical characteristics, composition and stability of bovine milk // R. Bras. Zootec. 2009. Vol. 38 (12). P. 2447–2454. DOI: 10.1590/S1516-35982009001200022.
  25. Paterson R.T., Kiruiro E., Arimi H.K. Calliandra calothyrsus as a supplement for milk production in the Kenya highlands // Trop. Anim. Health Prod. 1999. № 31 (2). P. 115–126.
  26. Selection and Treatment of Milk for Cheesemaking, Cheese (Fourth Edition) / Ram R. Panthi [et al.] // Academic Press. 2017. P. 23–50. DOI: 10.1016/B978-0-12-417012-4.00002-8.
  27. Composite  $\beta$ -к-casein genotypes and their effect on composition and coagulation of milk from Estonian Holstein cows / M. Vallas [et al.] // Journal of dairy science. 2012. № 95. P. 6760–6769. DOI: 10.3168/jds.2012-5495.
  28. Витушкина М.А., Дуленова М.А. Сыропригодность молока при производстве сыров // Вестник науки. 2020. Т. 5, № 8 (29). С. 59–63. EDN SSNNVZ.

## References

1. Afanas'eva A.I., Sarychev V.A., Pleshakov V.A. Allel'nyj polimorfizm gena kappa-kazeina (CSNZ) u bykov-proizvoditelej cherno-pestroj породы // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. № 9 (203). S. 44–49. DOI: 10.53083/1996-4277-2021-203-09-44-49. EDN IPEPNK.
2. Afanas'eva A.I., Sarychev V.A. Harakteristika geneticheskogo profilya krupnogo rogatogo skota cherno-pestroj породы na osnove dnc-diagnosticski po genam kappa-kazeina (CSN3), beta-laktoglobulina (BLG), al'fa-laktal'bumina (LALBA) i leptina (LEP) // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. № 5 (211). S. 48–52.
3. Stolpovskij Yu.A. Genomnaya selekciya. I. Poslednie tendencii i vozmozhnye puti razvitiya // Genetika. 2020. T. 56, № 9. S. 1006–1017.
4. Shajdullin R.R. Syroprigodnost' moloka chernopestryh korov s raznymi genotipami kappa-kazeina i diacilglicerol O-aciltransferazy //



- Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'sko-hozyajstvennoj akademii. 2020. № 2. S. 59–63.
5. Zinov'eva N.A., Gladyr' E.A., Frolkin D.A. Primenenie DNK-dagnostiki dlya analiza genov-kandidatov lokusov kolichestvennyh priznakov sel'skohozyajstvennyh zivotnyh // Zhivotnovodstvo XXI vek: nauch. tr. VIZh. Dubrovicy: Izd-vo VNII zhivotnovodstva, 2001. Vyp. 61. S. 218–224.
  6. The influence of CSN3 and LGB polymorphisms on milk production and chemical composition in Romanian Simmental cattle / R.I. Neamt [et al.] // Acta Biochim Pol. 2017. № 64 (3). P. 493–497. DOI: 10.18388/abp.2016\_1454.
  7. Curi R.A. Effects of CSN3 and LGB gene polymorphisms on production traits in beef cattle / R.A. Curi [et al.] // Gen. Mol. Biol. 2005. № 28. P. 262–266.
  8. Trocenko I.V., Ivanova I.P. Vzaimosvyazi mezhu priznakami produktivnosti u molochnogo skota // Vestnik KrasGAU. 2022. № 3 (180). S. 93–100. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-3-93-100.
  9. Lefler T.F., Krashenninnikova I.V. K voprosu o vliyanii genotipa na produktivnye kachestva korov // Vestnik KrasGAU. 2022. № 5 (182). S. 170–176. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-170-176.
  10. Safina N.Yu., Yul'met'eva Yu.R., Shakirov Sh.K. Vliyanie kompleksa polimorfizma genov kazeina (CSN3) i prolaktina (PRL) na molochnyuyu produktivnost' korovpervotelok golshtinskoj porody // Molochnohozyajstvennyj vestnik. 2018. № 1 (29). S. 74–82. EDN YWNTLG.
  11. Loretc O.G., Matushkina E.V. Vliyanie genotipa kappa-kazeina na tehnologicheskie svoystva moloka // Agrarnyj vestnik Urala. 2014. № 3 (121). S. 23–26. EDN SGWXRN.
  12. Molecular marker technologies and selection for the traits of economic interest / M. Stevanovic [et al.] // Biotech. Anim. Husb. 2000. № 16. P. 25–34.
  13. Inihov G.S., Brio N.P. Metody analiza moloka i molochnyh produktov M.: Pischevaya promyshlennost', 1971. 423 s.
  14. Alipanah M., Kalashnikova L., Rodionov G. Kappa-casein genotypic frequencies in Russian breeds Black and Red Pied cattle // Iran J. Biotechnol. 2005. № 3. P. 191–194.
  15. Zagidullin L.R. Polimorfizm genov kappa-kazeina i diacilglicerol o-aciltransferazy u cherno-pestrogo skota // Molochnohozyajstvennyj vestnik. 2020. № 1 (37). S. 24–34.
  16. Ovsyannikova G.V., Borodina E.Yu. Polimorfizm gena kappa-kazeina i ego svyaz' s tehnologicheskimi svojstvami moloka u krasnopestrogo skota // Studencheskij nauchnyj forum – 2016: mat-ly VIII Mezhdunar. stud. `elektron. nauch. konf. 2016. URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016025862> (data obrascheniya: 04.06.2022).
  17. Yarlykov N.G., Tamarova R.V. Ispol'zovanie markernoj selekcii dlya polucheniya syrop-rigodnosti moloka korov / Ros. gos. agrar. un-t MSHA im. K. A. Timiryazeva, Fond «Pepsiko», In-t mezhdunar. obrazovaniya. M.: Izd-vo RGAU-MSHA, 2016. 115 s.
  18. Molochnaya produktivnost' korov holmogorskoj porody s raznymi genotipami molochnyh belkov / I.E. Bagal' [i dr.] // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. 2015. № 7. S. 6–9.
  19. Reproductive quality of cows of different genotypes on Csn3 and Dgat1 genes depending on milk level / A.S. Ganiev [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. № 9 (6). P. 1504–1508.
  20. 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: doctor of philosophy // Pan African university institute for basic sciences, technology and innovation, 2018. P. 145.
  21. Ketto I.A., Qyass J., Andqy T. The influence of milk protein genetic polymorphism on the physical properties of cultured milk // International Dairy Journal. 2018. Vol. 78, № 3. P. 130–137.
  22. O'Connell J., Fox P. Heat-Induced Coagulation of Milk. In book // Advanced Dairy Chemistry – 1 Proteins, 2003. P. 879–945. DOI: 10.1007/978-1-4419-8602-3\_25.
  23. Singh H. Heat stability of milk // International Journal of Dairy Technology. 2004. № 57. P. 111–119.
  24. Bruno G.B., Real de Lima Y.V., Cortinhas C.S. Effect of the kappa-casein gene polymor-

- phism, breed and seasonality on physico-chemical characteristics, composition and stability of bovine milk // *R. Bras. Zootec.* 2009. Vol. 38 (12). P. 2447–2454. DOI: 10.1590/S1516-35982009001200022.
25. *Paterson R.T., Kiruiro E., Arimi H.K.* Calliandra calothyrsus as a supplement for milk production in the Kenya highlands // *Trop. Anim. Health Prod.* 1999. № 31 (2). P. 115–126.
26. Selection and Treatment of Milk for Cheesemaking, Cheese (Fourth Edition) / *Ram R. Panthi [et al.]* // Academic Press. 2017. P. 23–50. DOI: 10.1016/B978-0-12-417012-4.00002-8.
27. Composite  $\beta$ -к-casein genotypes and their effect on composition and coagulation of milk from Estonian Holstein cows / *M. Vallas [et al.]* // *Journal of dairy science.* 2012. № 95. P. 6760–6769. DOI: 10.3168/jds.2012-5495.
28. *Vitushkina M.A., Dulepova M.A.* Syroprigodnost' moloka pri proizvodstve syrov // *Vestnik nauki.* 2020. T. 5, № 8 (29). S. 59–63. EDN SSNNVZ.

Статья принята к публикации 08.04.2024 / The article accepted for publication 08.04.2024.

Информация об авторах:

**Владислав Андреевич Сарычев**<sup>1</sup>, доцент кафедры общей биологии, биотехнологии и разведения животных, кандидат биологических наук

**Антонина Ивановна Афанасьева**<sup>2</sup>, заведующий кафедрой общей биологии, биотехнологии и разведения животных, доктор биологических наук, профессор

Information about the authors:

**Vladislav Andreevich Sarychev**<sup>1</sup>, Associate Professor at the Department of General Biology, Biotechnology and Animal Breeding, Candidate of Biological Sciences

**Antonina Ivanovna Afanasyeva**<sup>2</sup>, Head of the Department of General Biology, Biotechnology and Animal Breeding, Doctor of Biological Sciences, Professor

