



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-669-684

УДК 636.271:636.2.034:575.22

EDN CIWMZF

Научная статья / Research article

Влияние распределения генотипов бета-казеина в двух поколениях на показатели молочной продуктивности крупного рогатого скота холмогорской породы

Н.А. Худякова¹ , И.С. Кожевникова^{1,2} , М.А. Кудрина¹  

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова Уральского отделения Российской академии наук, г. Архангельск, Российская Федерация

²Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Российская Федерация
 labinnovrazv@yandex.ru

Аннотация. Актуальность исследования заключается в проработке возможности целенаправленного формирования высокопродуктивного молочного стада крупного рогатого скота с наиболее желательными генными комбинациями на основе выявленных закономерностей наследования генотипов. Цель исследования — определить закономерности наследования желательного генотипа дочернего потомства от различных генотипов их матерей и сопоставить эти закономерности с показателями молочной продуктивности. Исследование провели на двух поколениях крупного рогатого скота холмогорской породы (коров и их дочернего потомства) на базе ООО «Агрофирма „Холмогорская“» и АО «Холмогорский племязавод». Полиморфизм гена бета-казеина у коров холмогорской породы определяли методом АС-ПЦР. Наблюдали преобладание гетерозиготного генотипа бета-казеина в двух поколениях, который составил 58,5 и 60,0 % у коров-матерей и 49,1 и 48,0 % в дочернем потомстве. В обоих стадах выявлено доминирование аллеля А1, что, соответственно, влияет на наследование А1 аллельных вариантов генотипов, однако чаще встречался гетерозиготный А1А2 генотип. В целях определения наиболее перспективного генотипа для дальнейшей селекционной работы провели оценку молочной продуктивности по показателям удоя, жира и белка в молоке за 305 дней первой лактации. Коровы с генотипом А1А2 как в среднем по выборке в двух хозяйствах, так и по поколениям в основном отличались более высоким удоём. В среднем в хозяйствах за 305 дней первой лактации коровы, несущие генотипы с аллельным вариантом А2 (А1А2 и А2А2), обладали наивысшими показателями по качественному и количественному составу молока. Таким образом, для производства высококачественной молочной продукции и эффективного ведения селекционных работ в хозяйствах необходимо повысить количество животных, несущих генотип А2А2.

Ключевые слова: ген CSN2, полиморфизм, белок β-казеин, маточное поголовье, генотип, аллель

© Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Кудрина М.А., 2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Вклад авторов: каждый из авторов внес равноценный вклад в формирование исследуемых групп, отбор проб, генотипирование, статистическую обработку данных, анализ полученного материала и оформление публикации.

Финансирование. Работа подготовлена в рамках выполнения темы государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН «Молекулярно-генетическая оценка сельскохозяйственных животных по селекционным и хозяйственно-полезным признакам в условиях арктических и субарктических территорий РФ» (FUUW-2024-0006).

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила 1 декабря 2023 г., принята к публикации 13 июня 2024 г.

Для цитирования: Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Кудрина М.А. Влияние распределения генотипов бета-казеина в двух поколениях на показатели молочной продуктивности крупного рогатого скота холмогорской породы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 4. С. 669–684. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-669-684

The influence of distribution of beta-casein genotypes in two generations on milk productivity of Kholmogory cattle

Natalya A. Khudyakova¹ , Irina S. Kozhevnikova^{1,2} ,
Marina A. Kudrina¹  

¹N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, *Arkhangelsk, Russian Federation*

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, *Arkhangelsk, Russian Federation*

 labinnovrazv@yandex.ru

Abstract. The relevance of the study lies in the possibility of purposeful formation of a highly productive dairy herd of cattle with the most desirable gene combinations based on the identified patterns of genotype inheritance. The aim of the study was to determine patterns of inheritance of desired genotype in daughter offspring from various genotypes of their mothers and compare them with indicators of milk productivity. The study was conducted on two generations of cattle of Kholmogorsky breed (cows and their offspring) on the basis of "Agrofirma 'Kholmogorskaya'" and "Kholmogorsky plemzavod". Determination of beta-casein gene polymorphism in Kholmogorsky cows was carried out by Allele-specific polymerase chain reaction method. There was a predominance of heterozygous beta-casein genotype in two generations, which was 58.5 and 60.0% in mother cows and 49.1 and 48.0% in daughter offspring. In both herds, the dominance of A1 allele was observed, which, accordingly, affects the inheritance of A1 allelic variants of genotypes, but A1A2 genotype was more common. In order to determine the most promising genotype for further breeding work, an assessment of milk productivity was carried out in terms of milk yield, fat and protein in milk for 305 days of the first lactation. Cows with A1A2 genotype were mainly characterized by higher milk yield. In the studied herds, the dominance of A1 allele and the predominance of cows with heterozygous A1A2 genotype were observed. On average, in farms for 305 days of the first lactation, cows carrying genotypes with A2 allele variant (A1A2 and A2A2) had the highest indicators for qualitative and quantitative composition of milk. Thus, in order to produce high-quality dairy products and effectively conduct breeding work on farms, it is necessary to increase the number of animals carrying A2A2 genotype.

Key words: CSN2 gene, polymorphism, beta-casein protein, breeding stock, genotype, allele

Authors' contribution. All authors contributed equally to the formation of the study groups, sample selection, genotyping, statistical processing of data, analysis of the obtained material and scientific writing.

Funding. The research was performed on a government assignment of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, topic «Molecular genetic assessment of farm animals for selection and economically useful traits in the conditions of the Arctic and subarctic territories of the Russian Federation» (FUUW-2024-0006).

Conflict of interests. The authors declared no conflict of interests.

Article history: received 1 December 2023; accepted 13 June 2024.

For citation: Khudyakova NA, Kozhevnikova IS, Kudrina MA. The influence of distribution of beta-casein genotypes in two generations on milk productivity of Kholmogory cattle. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(4):669—684. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-669-684

Введение

Производство высококачественной молочной продукции обуславливает необходимость проведения генотипирования крупного рогатого скота для повышения качественных и количественных показателей коровьего молока. В роли генетического маркера, влияющего на показатели молочной продуктивности, для селекционного отбора ремонтных телок и быков животных выступает ген бета-казеина.

Казеин составляет 78 % всех белков коровьего молока, из которых 35 % представляет бета-казеин. Он состоит из одной полипептидной цепи, включающей 209 аминокислот [1]. Бета-казеин кодируется геном CSN2, расположенным на 6-й хромосоме крупного рогатого скота, и является высокополиморфным геном молочного белка, аллели A1 и A2 представляют наибольший интерес [2, 3]. Вариант A1 содержит аминокислоту гистидин в 67-м положении, тогда как молоко A2 в аналогичном положении имеет аминокислоту пролин. Данное различие приводит к высвобождению опиоидного пептида бета-казоморфина-7 в результате метаболических процессов в организме человека при употреблении молока A1. Бета-казоморфин-7 может приводить к возникновению ишемической болезни сердца, диабета 1 типа, неврологическим расстройствам (аутизм, шизофрения), у детей он может быть причиной синдрома младенческой смерти [4].

Большинство исследователей показывают, что частота встречаемости аллельного варианта A1 чаще всего доминирует в стаде над аллелем A2 [3, 5, 6]. Соответственно, направленное производство молока от коров с генотипом A2A2 — более перспективное направление в молочном скотоводстве. Способом получения потомства с желательным генотипом является оценка и отбор ремонтных телок, а также закрепление быков-производителей с генотипом A2A2 в стаде [7].

Наследование дочерним потомством генотипов по бета-казеину недостаточно изучено, требуется исследование не только коров и их дочернего потомства, но и быков-производителей. Согласно законам наследственной передачи признаков Г. Менделя, на основе полученных данных генотипирования коров и быков-

производителей можно предполагать, с определенной долей вероятности, носителем какого генотипа будет являться их дочернее потомство.

Цель исследования — определить закономерности наследования желательного генотипа дочернего потомства от различных генотипов матерей и сопоставить эти закономерности с показателями молочной продуктивности.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено в 2022—2023 гг. на двух поколениях крупного рогатого скота холмогорской породы (коров и их дочернего потомства) на базе ООО «Агрофирма „Холмогорская“» и АО «Холмогорский племзавод». Для определения ассоциации генотипа и показателей молочной продуктивности отобрали 206 особей крупного рогатого скота холмогорской породы.

Произведен отбор цельной крови у крупного рогатого скота из яремной вены в вакуумные пробирки с КЗ ЭДТА с целью экстракции ДНК для дальнейшего анализа. Выделение геномной ДНК проводили с помощью набора реагентов «МагноПрайм ВЕТ» (Россия, ООО «НекстБио») согласно протоколу.

Определение полиморфизма гена бета-казеина у коров проводили методом аллель специфичного ПЦР, использовали праймеры, синтезированные ЗАО «Евроген» (Россия), со следующей нуклеотидной последовательностью:

GBhF: 5'-CTT-CCC-TGG- GCC—CAT-CCA-3' (прямой праймер аллеля A1);
 IGBhF: 5'-CTT-CCC-TGG-GCC—CAT-CCC-3' (прямой праймер аллеля A2);
 IGBhR: 5'-AGA-CTG-GAG-CAG-AGG-CAG-AG-3' (обратный праймер аллелей A1, A2).

Для амплификации использовался амплификатор MiniAmp Plus, Республика Сингапур, Thermo Fisher Scientific.

Детектирование ДНК-продуктов амплификации осуществляли путем горизонтального электрофореза в 2 % агарозном геле. (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика фрагментов ДНК аллельных вариантов CSN2

Генотипы CSN2	1 амплификат CSN2, п.н	2 амплификат CSN2, п.н
A1A1	A1—244	A2 — нет амплификата
A1A2	A1—244	A2—244
A2A2	A1 — нет амплификата	A2—244

Источник: выполнено Н.А. Худяковой, И.С. Кожевниковой, М.А. Кудриной.

Table 1

Characteristics of DNA fragments of CSN2 allelic variants

CSN2 genotypes	1 CSN2 amplification, bp	2 CSN2 amplification, bp
A1A1	A1—244	A2 — no amplification
A1A2	A1—244	A2—244
A2A2	A1 — no amplification	A2—244

Source: compiled by N.A. Khudyakova, I.S. Kozhevnikova, M.A. Kudrina.

Согласно Е.К. Меркурьевой рассчитывали: частоту встречаемости генотипов, частоту отдельных аллелей, критерий соответствия фактического и ожидаемого распределения частот генотипов хи-квадрат χ^2 . Ожидаемое распределение генотипов определяли с помощью закона Харди — Вайнберга [8]. Для расчета статистических показателей использовалась программа Microsoft Excel 2021. Результаты представлены в виде $Me \pm S$ (среднее значение \pm ошибка среднего арифметического).

Результаты исследований и обсуждение

Данные по частоте встречаемости генотипов и аллелей бета-казеина крупного рогатого скота холмогорской породы в двух поколениях, полученные на базе АО «Холмогорский племязавод» и ООО «Агрофирма „Холмогорская“», приведены в табл. 2.

Таблица 2

Полиморфизм гена бета-казеина крупного рогатого скота холмогорской породы

Поколение животных	Количество голов <i>n</i>	Тип распределений	Дочернее потомство								Х ²	
			A1A1		A1A2		A2A2		Частота аллелей			
			<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	A1	A2		
АО «Холмогорский племязавод»												
Матери	53	H	14	26,4	31	58,5	8	15,1	0,56	0,44	1,81	
		O	16	31,0	26	49,4	11	19,7				
Дочери	53	H	17	32,1	26	49,1	10	18,9	0,57	0,43	0,00	
		O	17	32,0	26	49,2	10	18,8				
ООО «Агрофирма „Холмогорская“»												
Матери	50	H	14	28,0	30	60,0	6	12,0	0,58	0,42	2,68	
		O	17	33,6	24	48,7	9	17,6				
Дочери	50	H	20	40,0	24	48,0	6	12,0	0,64	0,36	0,09	
		O	21	41,0	23	46,1	6	13,0				

Примечание. H – наблюдаемое распределение генотипов; O – ожидаемое распределение генотипов.

Источник: выполнено Н.А. Худяковой, И.С. Кожевниковой, М.А. Кудриной.

Table 2

Polymorphism of the beta-casein gene in Kholmogory cattle

Animal generation	Number of animals, <i>n</i>	Distribution type	Offspring								Х ²	
			A1A1		A1A2		A2A2		Allele frequency			
			<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	A1	A2		
Kholmogorskiy plemzavod												
Mothers	53	H	14	26.4	31	58.5	8	15.1	0.56	0.44	1.81	
		O	16	31.0	26	49.4	11	19.7				

End tabl. 2

Animal generation	Number of animals, n	Distribution type	Offspring								X ²
			A1A1		A1A2		A2A2		Allele frequency		
			n	%	n	%	n	%	A1	A2	
Daughters	53	H	17	32.1	26	49.1	10	18.9	0.57	0.43	0.00
		O	17	32.0	26	49.2	10	18.8			

Agrofirma "Kholmogorskaya"

Mothers	50	H	14	28.0	30	60.0	6	12.0	0.58	0.42	2.68
		O	17	33.6	24	48.7	9	17.6			
Daughters	50	H	20	40.0	24	48.0	6	12.0	0.64	0.36	0.09
		O	21	41.0	23	46.1	6	13.0			

Note. N – observed distribution of genotypes; O – expected distribution of genotypes.

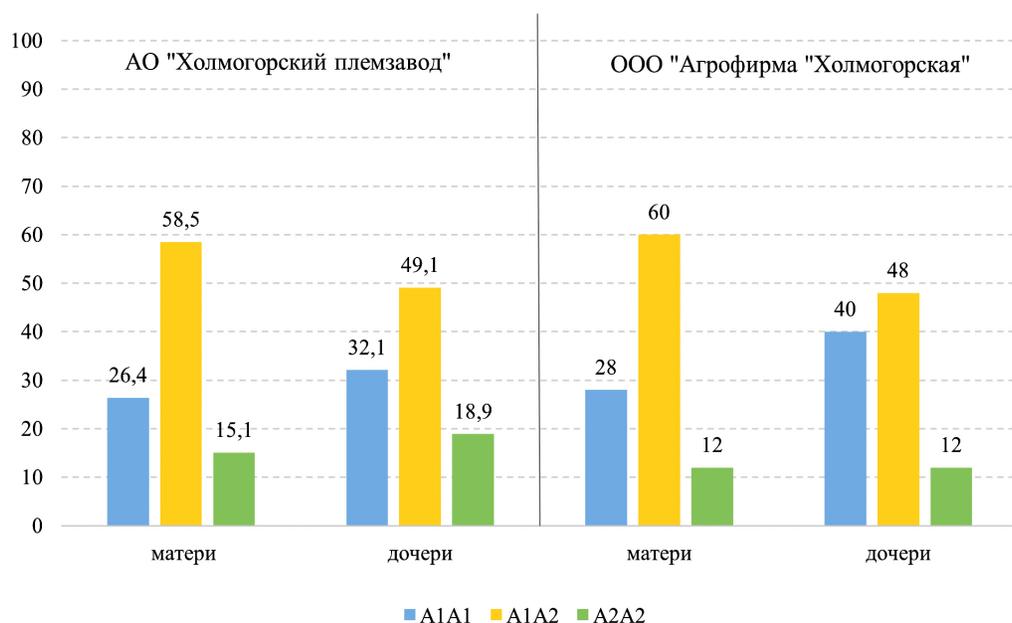
Source: compiled by N.A. Khudyakova, I.S. Kozhevnikova, M.A. Kudrina.

Отмечено преобладание в двух поколениях гетерозиготного генотипа бета-казеина, который составил 58,5 и 60,0 % у коров-матерей и 49,1 и 48,0 % в дочернем потомстве (рис. 1). Исследования [3, 9] показывают, что гетерозиготный генотип положительно влияет как на показатели удоя, так и на массовую долю жира и белка в молоке крупного рогатого скота.

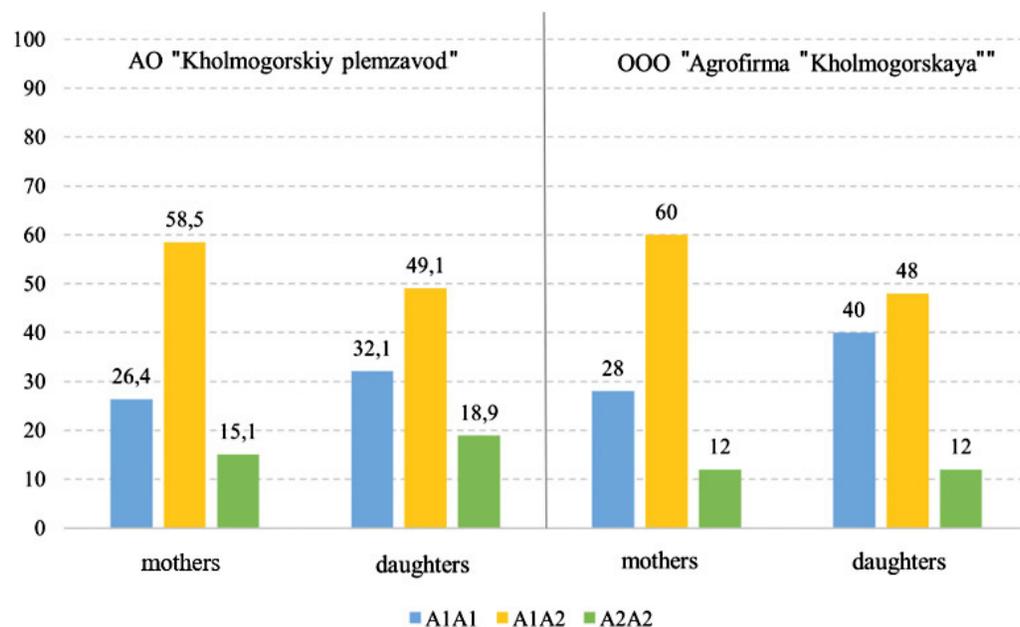
В обоих хозяйствах наблюдалось незначительное увеличение частоты встречаемости аллеля A1 и уменьшение частоты встречаемости аллеля A2 у дочернего потомства, что привело к возрастанию количества гомозиготных особей по аллелю A1 в дочернем потомстве (рис. 1). По данным исследователей, генотип A1A1 оказывает незначительное влияние на показатели по удою и жиру в молоке крупного рогатого скота [5, 8].

Так же в АО «Холмогорский племязавод» с увеличением количества голов с генотипом A1A1 увеличивалось и количество гомозиготных особей по аллелю A2 в дочернем потомстве, что составило 18,9 % или 10 голов (табл. 2, рис.). Исследователи отмечают, что генотип A2A2 положительно влияет на показатели молочной продуктивности, а именно удой и содержание белка в молоке [10–12, 14]. Животные с данным генотипом являются более востребованными для целенаправленного производства молока A2 [13, 15].

Ожидаемые значения частоты встречаемости генотипов бета-казеина практически не отличаются от фактически полученных результатов, что указывает на преобладание в исследуемых стадах системы случайного скрещивания. Рассчитанное значение χ^2 показывает на отсутствие смещения генетического равновесия изучаемой выборки животных.



Распределение частоты встречаемости генотипов бета-казеина в исследуемом стаде, %
 Источник: выполнено Н.А. Худяковой, И.С. Кожевниковой, М.А. Кудриной.



Frequency distribution of beta-casein genotypes in the studied herd, %
 Source: compiled by N.A. Khudyakova, I.S. Kozhevnikova, M.A. Kudrina.

Проведен анализ распределения генотипов по бета-казеину в дочернем потомстве (табл. 3).

Таблица 3

Распределение частот аллелей и генотипов по бета-казеину в дочернем потомстве

Генотип матерей	Количество голов матерей <i>n</i>	Тип распределений	Дочернее потомство								X ²
			A1A1		A1A2		A2A2		Частота аллелей		
			<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	A1	A2	
АО «Холмогорский племзавод»											
A1A1	14	Н	8	57,1	6	42,9	0	0	0,79	0,21	1,04
		О	9	61,7	5	33,7	0	4,6			
A1A2	31	Н	9	29,0	15	48,4	7	22,6	0,53	0,47	0,02
		О	9	28,3	15	49,8	7	21,9			
A2A2	8	Н	0	0	5	62,5	3	37,5	0,31	0,69	5,18
		О	0	9,8	3	43,0	4	47,3			
ООО «Агрофирма „Холмогорская“»											
A1A1	14	Н	9	64,3	5	35,7	0	0	0,82	0,18	0,66
		О	10	67,5	4	29,3	0	3,2			
A1A2	30	Н	11	36,7	14	46,7	5	16,7	0,60	0,40	0,02
		О	11	36,0	14	48,0	5	16,0			
A2A2	6	Н	0	0	5	83,3	1	16,7	0,42	0,58	3,84
		О	0	17,4	3	48,6	2	34,0			

Примечание. Н – наблюдаемое распределение генотипов; О – ожидаемое распределение генотипов.

Источник: выполнено Н.А. Худяковой, И.С. Кожевниковой, М.А. Кудриной.

Table 3

Distribution of allele and genotype frequencies for beta-casein in offspring

Mothers' genotype	Number of mothers <i>n</i>	Distribution type	Offspring								X ²
			A1A1		A1A2		A2A2		Allele frequency		
			<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	A1	A2	
Kholmogorskiy plemzavod											
A1A1	14	Н	8	57.1	6	42.9	0	0	0.79	0.21	1.04
		О	9	61.7	5	33.7	0	4.6			
A1A2	31	Н	9	29.0	15	48.4	7	22.6	0.53	0.47	0.02
		О	9	28.3	15	49.8	7	21.9			
A2A2	8	Н	0	0	5	62.5	3	37.5	0.31	0.69	5.18
		О	0	9.8	3	43.0	4	47.3			

End tabl. 3

Mothers' genotype	Number of mothers <i>n</i>	Distribution type	Offspring								X2
			A1A1		A1A2		A2A2		Allele frequency		
			<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	A1	A2	
Agrofirma "Kholmogorskaya"											
A1A1	14	H	9	64.3	5	35.7	0	0	0.82	0.18	0.66
		O	10	67.5	4	29.3	0	3.2			
A1A2	30	H	11	36.7	14	46.7	5	16.7	0.60	0.40	0.02
		O	11	36.0	14	48.0	5	16.0			
A2A2	6	H	0	0	5	83.3	1	16.7	0.42	0.58	3.84
		O	0	17.4	3	48.6	2	34.0			

Note. N – observed distribution of genotypes; O – expected distribution of genotypes.

Source: compiled by N.A. Khudyakova, I.S. Kozhevnikova, M.A. Kudrina.

В обоих стадах наблюдается доминирование аллеля A1, что, соответственно, влияет на наследование A1 аллельных вариантов генотипов, однако чаще встречается A1A2 генотип. Следовательно, вероятность наследования аллеля A2 дочерним потомством снижено, что может привести к уменьшению количества гомозиготных особей по данному аллелю в стаде.

У коров с генотипом A2A2 наблюдается смещение генетического равновесия у дочернего потомства в сторону гетерозиготного генотипа. Также при сравнении наблюдаемого и ожидаемого распределения генотипов бета-казеина видно, что в стадах преобладает случайное скрещивание.

С целью определить наиболее перспективный генотип для дальнейшей селекционной работы проведен анализ молочной продуктивности по показателям удоя, жира и белка в молоке за 305 дней первой лактации крупного рогатого скоты холмогорской породы в двух поколениях на базе АО «Холмогорский племязавод» и ООО «Агрофирма „Холмогорская“». Из 103 пар животных с различными генотипами, используя критерий включения (законченная первая лактация коров и их дочернего потомства, наличие данных по показателям молочной продуктивности за 305 дней первой лактации у кров и их дочернего потомства), отобрали 66 пар коров и их дочернего потомства (табл. 4).

Таблица 4

Молочная продуктивность коров за 305 дней первой лактации при распределении генотипов по бета-казеину

Генотип	Матери		Дочери		Всего	
	Количество голов <i>n</i>	Удой, кг	Количество голов <i>n</i>	Удой, кг	Количество голов <i>n</i>	Удой, кг
АО «Холмогорский племязавод»						
A1A1	5	5660 ± 440	5	5743 ± 653	10	5701 ± 394
A1A2	16	6065 ± 136	17	5639 ± 186	33	5846 ± 122
A2A2	5	6094 ± 138	4	5365 ± 312	9	5770 ± 199

Окончание табл. 4

Генотип	Матери		Дочери		Всего	
	Количество голов <i>n</i>	Удой, кг	Количество голов <i>n</i>	Удой, кг	Количество голов <i>n</i>	Удой, кг
Всего	26	5993 ± 126	26	5617 ± 183	52	5805 ± 114
ООО «Агрофирма „Холмогорская“»						
A1A1	11	4705 ± 151	18	5172 ± 212	29	4995 ± 150
A1A2	26	4746 ± 120	17	5386 ± 274	43	4999 ± 139
A2A2	3	4950 ± 65	5	4843 ± 339	8	4883 ± 214
Всего	40	4750 ± 89	40	5222 ± 159	80	4986 ± 95

Источник: выполнено Н.А. Худяковой, И.С. Кожевниковой, М.А. Кудриной.

Table 4

Milk productivity of cows for 305 days of the first lactation with the distribution of genotypes by beta-casein

Genotype	Mothers		Daughters		Total	
	Number of animals <i>n</i>	Milk yield, kg	Number of animals <i>n</i>	Milk yield, kg	Number of animals <i>n</i>	Milk yield, kg
Kholmogorskiy plemzavod						
A1A1	5	5660 ± 440	5	5743 ± 653	10	5701 ± 394
A1A2	16	6065 ± 136	17	5639 ± 186	33	5846 ± 122
A2A2	5	6094 ± 138	4	5365 ± 312	9	5770 ± 199
Total	26	5993 ± 126	26	5617 ± 183	52	5805 ± 114
Agrofirma "Kholmogorskaya"						
A1A1	11	4705 ± 151	18	5172 ± 212	29	4995 ± 150
A1A2	26	4746 ± 120	17	5386 ± 274	43	4999 ± 139
A2A2	3	4950 ± 65	5	4843 ± 339	8	4883 ± 214
Total	40	4750 ± 89	40	5222 ± 159	80	4986 ± 95

Source: compiled by N.A. Khudyakova, I.S. Kozhevnikova, M.A. Kudrina.

В АО «Холмогорский племязавод» выявили 26 пар коров холмогорской породы. В среднем по лактации от коров всех генотипов и поколений надоено 5805 кг молока, при этом удой коров-матерей был выше на 188 кг. В среднем по генотипам показатель по удою незначительно выше у коров с генотипов A1A2, однако среди матерей наиболее высокий и практически равный показатель имеют коровы с генотипом A2A2 и A1A2, а среди дочернего потомства — A1A1 и A1A2.

При сравнении коров в двух поколениях одного и того же генотипа видно, что коровы из группы дочернего потомства с генотипом A1A1 превзошли аналогов из группы матерей по удою на 84 кг, с генотипом A1A2 уступили на 426 кг, с генотипом A2A2 уступили на 729 кг.

В ООО «Агрофирма „Холмогорская“» отобрали 40 пар коров холмогорской породы. В среднем по лактации от коров всех генотипов и поколений надоено 4986 кг молока, при этом удой дочернего потомства был выше на 236 кг. В среднем по генотипам показатель по удою незначительно выше у коров с генотипом A1A2, однако среди матерей наиболее высокий показатель имеют коровы с генотипом A2A2, а среди дочернего потомства — A1A2.

При сравнении коров в двух поколениях одного и того же генотипа видно, что коровы из группы дочернего потомства с генотипом A1A1 превосходили аналогов из группы матерей по удою на 467 кг, с генотипом A1A2 — на 640 кг, с генотипом A2A2 уступили на 107 кг.

Нами также проанализирована молочная продуктивность по первой лактации у дочерей-коров с разными генотипами гена бета-казеина (табл. 5).

Таблица 5

Характеристика молочной продуктивности за 305 дней первой лактации при распределении генотипов по бета-казеину в дочернем потомстве

Генотип матери	Генотип дочери	Количество голов дочерей <i>n</i>	Показатель	Удой за 305 дн по 1 л, кг	Жир, %	Белок, %	Количество жира, кг	Количество белка, кг
АО «Холмогорский племязавод»								
A1A1	A1A1	1	M	5423	3,56	3,03	193	164
			m	—	—	—	—	—
	A1A2	4	M	5884	3,46	2,96	204	174
			m	404	0,18	0,11	6	5
A1A2	A1A1	4	M	5823	3,78	3,20	220	186
			m	811	0,21	0,06	27	25
	A1A2	10	M	5692	3,61*	3,14	206*	179
			m	247	0,11	0,05	9	7
	A2A2	2	M	5596	4,19*	3,34	234*	187
			m	239	0,16	0,10	1	2
A2A2	A1A2	3	M	5136	3,87	3,26	199	167
			m	160	0,08	0,04	8	4
	A2A2	2	M	5135	3,61	3,28	185	168
			m	528	0,15	0,03	27	19
ООО «Агрофирма „Холмогорская“»								
A1A1	A1A1	8	M	4867	3,67	2,99	179	145
			m	318	0,06	0,06	11	8
	A1A2	3	M	4953	3,67	3,06	182	151
			m	387	0,10	0,11	9	10

Окончание табл. 5

Генотип матери	Генотип дочери	Количество голов дочерей n	Показатель	Удой за 305 дн по 1 л, кг	Жир, %	Белок, %	Количество жира, кг	Количество белка, кг
A1A2	A1A1	10	M	5416	3,61	3,09	195	168
			m	261	0,07	0,04	11	7
	A1A2	11	M	5010	3,74	3,16	187	158
			m	191	0,10	0,06	8	6
A2A2	5	M	4843	3,63	3,04	176	147	
		m	339	0,11	0,09	13	10	
A2A2	A1A2	3	M	7197	3,45	3,02	248	217
			m	660	0,07	0,07	20	18

Примечание. Различия достоверны $*p \leq 0,05$.

Источник: выполнено Н.А. Худяковой, И.С. Кожевниковой, М.А. Кудриной.

Table 5

Characteristics of milk production for 305 days of the first lactation with the distribution of genotypes for beta-casein in the offspring

Mother's genotype	Daughter's genotype	Number of daughters n	Index	Milk yield for 305 days, 1 liter, kg	Fat, %	Protein, %	Amount of fat, kg	Amount of protein, kg
Kholmogorskiy plemzavod								
A1A1	A1A1	1	M	5423	3.56	3.03	193	164
			m	—	—	—	—	—
	A1A2	4	M	5884	3.46	2.96	204	174
			m	404	0.18	0.11	6	5
A1A2	A1A1	4	M	5823	3.78	3.20	220	186
			m	811	0.21	0.06	27	25
	A1A2	10	M	5692	3.61*	3.14	206*	179
			m	247	0.11	0.05	9	7
	A2A2	2	M	5596	4.19*	3.34	234*	187
			m	239	0.16	0.10	1	2
A2A2	A1A2	3	M	5136	3.87	3.26	199	167
			m	160	0.08	0.04	8	4
	A2A2	2	M	5135	3.61	3.28	185	168
			m	528	0.15	0.03	27	19
Agrofirma "Kholmogorskaya"								
A1A1	A1A1	8	M	4867	3.67	2.99	179	145
			m	318	0.06	0.06	11	8
	A1A2	3	M	4953	3.67	3.06	182	151
			m	387	0.10	0.11	9	10

Ending tabl. 5

Mother's genotype	Daughter's genotype	Number of daughters <i>n</i>	Index	Milk yield for 305 days, 1 liter, kg	Fat, %	Protein, %	Amount of fat, kg	Amount of protein, kg
A1A2	A1A1	10	M	5416	3.61	3.09	195	168
			m	261	0.07	0.04	11	7
	A1A2	11	M	5010	3.74	3.16	187	158
			m	191	0.10	0.06	8	6
	A2A2	5	M	4843	3.63	3.04	176	147
			m	339	0.11	0.09	13	10
A2A2	A1A2	3	M	7197	3.45	3.02	248	217
			m	660	0.07	0.07	20	18

Note: the difference is reliable * $p \leq 0.05$.

Source: compiled by N.A. Khudyakova, I.S. Kozhevnikova, M.A. Kudrina.

В АО «Холмогорский племзавод» анализ результатов величины удоев за 305 дней первой лактации показал, что наибольшую продуктивность имеют дочери с генотипом A1A2 от коров с генотипом A1A1—5884 кг и дочери с генотипом A1A1 от коров с генотипом A1A2—5823 кг. Однако по качественному составу молока наивысшие показатели по массовой доле жира и белка, количеству молочного жира и белка имеют дочери с генотипом A2A2 от коров с генотипом A1A2.

В ООО «Агрофирма „Холмогорская“» наивысший показатель по удою имеют дочери с генотипом A1A2 от коров с генотипом A2A2—7197 кг. По массовой доле жира и белка наибольший показатель имеют дочери с генотипом A1A2 от коров с генотипом A1A2—3,74 и 3,16 % соответственно. Наибольшее количество жира и белка имеют дочери с генотипом A1A2 от коров с генотипом A2A2.

Коровы с генотипом A1A2, как в среднем по выборке в двух хозяйствах, так и по поколениям в основном отличаются более высоким удоем. Следовательно, при использовании в подборе пар коров с генотипом A1A2 и A2A2 вероятность передачи аллеля A2 дочернему потомству достаточно велика, как и улучшение качественного состава молока.

Заключение

Таким образом, для производства высококачественной молочной продукции и эффективного ведения селекционных работ в хозяйствах необходимо увеличить количество животных, несущих генотип A2A2. В изучаемых стадах наблюдалось доминирование аллеля A1 и преобладание коров с гетерозиготным генотипом A1A2. В среднем в хозяйствах за 305 дней первой лактации коровы, несущие генотипы с аллельным вариантом A2 (A1A2 и A2A2), обладают наивысшими показателями по качественному и количественному составу молока.

Список литературы

1. Antonopoulos D., Vougiouklaki D., Laliotis G.P., Tsironi T., Valasi I., Chatzilazarou A., Halvatsiotis P., Houhoula D. Identification of polymorphisms of the CSN2 gene encoding β -casein in greek local breeds of cattle // *Veterinary Sciences*. 2021. Vol. 8. № 11. P. 257. doi: 10.3390/vetsci8110257
2. Caroli A.M., Chessa S., Erhardt G.J. Invited review: Milk protein polymorphisms in cattle: Effect on animal breeding and human nutrition // *Journal of Dairy Science*. 2009. Vol. 92. № 11. P. 5335—5352. doi: 10.3168/jds.2009-2461
3. Парамонова М.А., Валитов Ф.Р., Кононенко Т.В. Влияние полиморфизма гена бета-казеина на молочную продуктивность коров черно-пестрой породы Республики Башкортостан // *Достижения и актуальные проблемы генетики, биотехнологии и селекции животных : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посв. 120-летию со дня рожд. проф. О.А. Ивановой*. Витебск, 2021. С. 38—42.
4. Ковалюк Н.В., Якушева Л.И., Шахназарова Ю.Ю. Полиморфизм локуса CSN2 в группе скота джерсейской породы // *Сборник научных трудов КНЦЗВ*. 2020. Т. 9. № 1. С. 33—36. doi: 10.34617/wc15-0m10
5. Калашикова Л.А., Хабибрахманова Я.А., Рыжова Н.В., Павлова И.Ю., Ганченкова Т.Б., Дунин М.И. Полиморфизм гена бета-казеина у холмогорских коров // *Зоотехния*. 2019. № 5. С. 1—8. doi: 10.25708/ZT.2019.25.66.008
6. Худякова Н.А., Ступина А.О., Классен И.А. Частота встречаемости аллелей гена бета-казеина у крупного рогатого скота разных пород // *Аграрный научный журнал*. 2023. № 4. С. 85—91.
7. Шейко И.П., Песоцкий Н.И., Климец Н.В., Коронец И.Н. Перспективы создания племенных стад с желательными генотипами по β -казеину в Республике Беларусь // *Зоотехническая наука Беларуси*. 2022. Т. 57. № 1. С. 139—146. doi: 10.47612/0134-9732-2022-57-1-139-146
8. Айала Ф. Дж., Кайгер Дж. Современная генетика : в 3 томах / пер. с англ. М. : Мир, 1987. Т. 1. — 295 с.
9. Фолин П.Ю., Гладырь Е.А., Ламонов С.А., Скоркина И.А. Полиморфизм гена бета-казеина у коров симментальской породы и показатели их молочной продуктивности за первую лактацию // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2023. № 2 (73). С. 170—173.
10. Калашикова Л.В., Труфанов В.Г., Хабибрахманова Я.А., Ганченкова Т.Б., Рыжова Н.В., Павлова И.Ю. Полиморфизм гена бета-казеина у холмогорских коров // *Зоотехния*. 2019. № 5. С. 8.
11. Калашикова Л.А., Хабибрахманова Я.А., Голубков А.И., Нальвадаев Н.Я., Багаль И.Е., Рыжова Н.В., Ганченкова Т.Б., Павлова И.Ю. Молочная продуктивность коров красно-пестрой породы с разными генотипами бета-казеина // *Молочное и мясное скотоводство*. 2022. № 2. С. 21—24. doi: 10.33943/MMS.2022.82.31.005
12. Клочкова А.Н., Пономарева А.В., Большакова Е.А. и др. Ассоциация генотипов гена бета-казеина и молочной продуктивности у коров костромской породы // *Актуальные вопросы развития науки и технологий: сб. статей молодых ученых 73-й студенч. науч. конф., Караваево, 7 апреля 2022 г. Караваево: Костромская гос. сельскохозяйственная академия*, 2022. С. 96—102.
13. Кудрина М.А., Кожевникова И.С., Худякова Н.А. Пищевая ценность коровьего молока // *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 12. С. 229—236. doi: 10.36718/1819-4036-2022-12-229-236
14. Панков М.Н., Смолина В.С., Ступина А.О., Классен И.А. Спасский Е.А. Бета-казеин коровьего молока и его влияние на организм человека (обзор) // *Журнал медико-биологических исследований*. 2024. Т. 12. № 3. С. 411—418.
15. Ardicli S., Aldevir O., Aksu E., Gumen A. The variation in the beta-casein genotypes and its effect on milk yield and genomic values in Holstein-Friesian cows // *Animal Biotechnology*. 2023. Vol. 34. № 8. P. 4116—4125. doi: 10.1080/10495398.2023.2267614

References

1. Antonopoulos D, Vougiouklaki D, Laliotis GP, Tsironi T, Valasi I, Chatzilazarou A, et al. Identification of polymorphisms of the CSN2 gene encoding β -casein in Greek local breeds of cattle. *Veterinary Sciences*. 2021;8(11):257. doi: 10.3390/vetsci8110257
2. Caroli AM, Chessa S, Erhardt GJ. Invited review: Milk protein polymorphisms in cattle: Effect on animal breeding and human nutrition. *Journal of Dairy Science*. 2009;92(11):5335—5352. doi: 10.3168/jds.2009-2461
3. Paramonova MA, Valitov FR, Kononenko TV. Influence of beta-casein gene polymorphism on dairy productivity of black-and-white cattle in the Republic of Bashkortostan. In: *Achievements and current problems of genetics, biotechnology and animal breeding: conference proceedings*. Vitebsk; 2021. p.38—42. (In Russ.).

4. Kovalyuk NV, Yakusheva LI, Shakhnazarova YY. *CSN2* locus polymorphism in the cattle of the Jersey breed. *Sbornik nauchnykh trudov KNTsZV*. 2020;9(1):33–36. (In Russ.). doi: 10.34617/wc15-0m10
5. Kalashnikova LA, Khabibrakhmanova YA, Ryzhova NV, Pavlova IY, Ganchenkova TB, Dunin MI. Polymorphism of the beta-casein gene in Kholmogorskaya breed cows. *Zootekhnika*. 2019;(5):1–8. (In Russ.). doi: 10.25708/ZT.2019.25.66.008
6. Khudyakova NA, Stupina AO, Klassen IA. Frequency of occurrence of beta-casein gene alleles in cattle of different breeds. *Scientific agricultural journal*. 2023;(4):85–91. (In Russ.).
7. Sheiko IP, Pesotsky NI, Klimets NV, Koronets IN. Prospects for creating pedigree herds with desirable β -casein genotypes in the Republic of Belarus. *Zootekhnika of Belarus*. 2022;57(1):139–146. (In Russ.). doi: 10.47612/0134-9732-2022-57-1-139-146
8. Ayala FJ, Kiger JA. *Modern genetics*. 2nd ed. Davis, USA: The Benjamin; 1980.
9. Folin PY, Gladyr EA, Lamonov SA, Skorkina IA. Beta-casein gene polymorphism in Simmental cows and indicators of their milk productivity during the first lactation. *The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2023;(2):170–173. (In Russ.).
10. Kalashnikova LV, Khabibrakhmanova YA, Ryzhova NV, Pavlova IY, Ganchenkova TB, Dunin MI. Polymorphism of the beta-casein gene in Kholmogorskaya breed cows. *Zootekhnika*. 2019;(5):8. (In Russ.). doi: 10.25708/ZT.2019.25.66.008
11. Kalashnikova LA, Khabibrakhmanova YA, Golubkov AI, Nalvadaev NY, Bagal IE, Ryzhova NV, Ganchenkova TB, Pavlova IY. Milk productivity of red-and-white cows with different beta-casein genotypes. *Journal of dairy and beef cattle breeding*. 2022;(2):21–24. (In Russ.). doi: 10.33943/MMS.2022.82.31.005
12. Klochkova AN, Ponomareva AV, Bolshakova EA, et al. Association of beta-casein gene genotypes and milk productivity in Kostroma cows. In: *Current issues in the development of science and technology: conference proceedings*. Karavaevo; 2022. p.96–102. (In Russ.).
13. Kudrina MA, Kozhevnikova IS, Khudyakova NA. Nutritional value of cow's milk. *Bulletin of KSAU*. 2022;(12):229–236. (In Russ.). doi: 10.36718/1819-4036-2022-12-229-236
14. Pankov MN, Smolina VS, Stupina AO, Klassen IA, Spasskiy EA. Beta-casein of cow's milk and its effects on the human body (review). *Journal of Medical and Biological Research*. 2024;12(3):411–418. (In Russ.). doi: 10.37482/2687-1491-Z207.
15. Ardicli S, Aldevir O, Aksu E, Gumen A. The variation in the beta-casein genotypes and its effect on milk yield and genomic values in Holstein-Friesian cows. *Animal Biotechnology*. 2023;34(8):4116–4125. doi: 10.1080/10495398.2023.2267614

Об авторах:

Худякова Наталья Александровна — кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, г. Архангельск, п. Луговой, д. 10; e-mail: nata070707hudyakova@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-1302-2965 SPIN-код: 3906-2286

Кожевникова Ирина Сергеевна — кандидат биологических наук, заведующий лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, г. Архангельск, п. Луговой, д. 10; доцент кафедры биологии человека и биотехнических систем, Северный арктический федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Российская Федерация, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, д. 17; e-mail: kogechnikovais@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-7194-9465 SPIN-код: 2441-2363

Кудрина Марина Александровна — младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, г. Архангельск, п. Луговой, д. 10; e-mail: labinnovrazv@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-8255-2989 SPIN-код: 4467-0807

About authors:

Khudyakova Natalya Aleksandrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Lugovoy vill., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; e-mail: nata070707hudyakova@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1302-2965 SPIN-code: 3906-2286

Kozhevnikova Irina Sergeevna — Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Lugovoy vill., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; Associate Professor, Department of Human Biology and Biotechnical Systems, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17 Naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: kogechnikovais@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7194-9465 SPIN-code: 2441-2363

Kudrina Marina Aleksandrovna — Junior Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Lugovoy vill., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; e-mail: labinnovrazv@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-8255-2989 SPIN: 4467-0807