

Частота встречаемости аллелей гена бета-казеина у крупного рогатого скота разных пород

Наталья Александровна Худякова, Александра Олеговна Ступина, Инга Андреевна Классен
ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск, Россия, e-mail: labinnovrazv@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены и обобщены результаты научных исследований частоты встречаемости генотипов A1A1, A1A2, A2A2 и аллелей A1 и A2 молочного белка бета-казеина у крупного рогатого скота различных пород. Рассмотрено поголовье следующих стран: Пакистан, Италия, Греция, Хорватия, Китай, Швеция, Мексика, Япония, Украина, Тайланд, Бразилия и Польша. На территории РФ учеными исследовано поголовье Республики Коми, Башкортостана, Ставропольского и Краснодарского краев, Архангельской и Ярославской областей. Наиболее изученными породами в большинстве стран являются голштинская и джерсейская. Породы голштинская, джерсейская, сахивал, белоголовая украинская, серая украинская, гибрид (сахивал × голштинская), гир, гузера, красная польская, гибрид (голландская × зебу) чаще всего имеют аллель A2 и генотипы A1A2, A2A2. На территории РФ преобладает генотип A1A2 у маточного поголовья, а у быков-производителей доминируют генотипы A1A2 и A2A2.

Ключевые слова: крупный рогатый скот; порода; бета-казеин; генотип; аллель.

Для цитирования: 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. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i4pp85-91>.

VETERINARY MEDICINE AND ZOOTECHNICS

Original article

The frequency of occurrence of alleles of the beta-casein gene in different breeds of cattle

Natalya A. Khudyakova, Alexandra O. Stupina, Inga A. Klassen
FECIAR UrB RAS, Arkhangelsk, Russia, e-mail: labinnovrazv@yandex.ru

Abstract. The article describes the data of scientific research on the frequency of occurrence of genotypes A1A1, A1A2, A2A2 and alleles A1 and A2 of milk protein beta-casein in cattle of various breeds, since 2014. Livestock in Pakistan, Italy, Greece, Croatia, China, Sweden, Mexico, Japan, Ukraine, Thailand, Brazil, Russia and Poland were considered. The data obtained on the territory of the Russian Federation is also described. The livestock of the Komi Republic, Bashkortostan, Stavropol and Krasnodar Territories, Arkhangelsk and Yaroslavl regions were considered. The most studied breeds in most countries are Holstein and Jersey. Holstein, Jersey, Sahiwal, white-headed Ukrainian, gray Ukrainian, hybrid (Sahiwal × Holstein), gir, Guzera, Red, Polish, Hybrid (Holstein × Zebu) breeds most often have the A2 allele and genotypes A1A2, A2A2. In cattle breeds in the territory of the Russian Federation, the A1 A2 genotype prevails.

Keywords: cattle; breed; beta-casein; genotype; allele.

For citation: Khudyakova N. A., Stupina A. O., Klassen I. A. The frequency of occurrence of alleles of the beta-casein gene in different breeds of cattle. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(4): 85–91. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i4pp85-91>.

ДНК-диагностика крупного рогатого скота на наличие в геноме A1-аллелей и A2-аллелей гена CSN2 (ген бета-казеина) представляет практический интерес для молочного животноводства, так как позволяет достоверно повысить качественные показатели получаемой продукции.

Коровье молоко является распространенным источником белка, а также содержит множество необходимых для человека питательных веществ. На состав молока влияют различные факторы: внешняя среда, кормление, генетический состав и физиологическое состояние крупного рогатого скота. Кроме того, существуют различия в составе молока между породами и отдельно взятыми коровами внутри породы, которые частично объяснимы генетическими вариациями. Для технологичности и функциональности молочных продуктов важен состав молока. Белки молока





состоят на 95 % и более из сывороточных белков и казеинов. Казеины α S1-, α S2-, β - и κ -CN представляют около 80 % всего молочного белка [15].

Бета-казеин является наиболее полиморфным геном молочных белков и локализуется в 6-й хромосоме [2]. Молекула бета-казеина состоит из 209 аминокислот и в ее состав входят 4–5 фосфатных остатков в зависимости от генотипа коров [10]. Известно, что бета-казеин представляет собой полипептидную цепь с молекулярной массой 23983. Длина гена составляет 10338 п.о. и включает в себя 9 экзонов и 8 интронов [4].

Бета-казеин имеет 13 аллельных вариантов, из которых самыми распространенными являются аллели A1 и A2. Они отличаются одной аминокислотой, в 67-й позиции происходит замена гистидина на пролин. Данная замена приводит к образованию большего количества β -казоморфин-7 (БКМ-7) в A1, чем в A2 [4]. Исследования, проведенные в Новой Зеландии, утверждают, что выделяемое при потреблении бета-казеина A1 вещество БКМ-7 связано с более высокими национальными показателями смертности от ишемической болезни сердца. Население, потребляющее молоко A2, имеет низкий показатель заболеваемости сердечно-сосудистыми болезнями и диабетом 1 типа [25].

Цель исследования – обобщение научных данных, полученных исследователями из разных стран мира и разных регионов Российской Федерации, частоты встречаемости генотипов и аллелей молочного белка бета-казеина у крупного рогатого скота различных пород за последние годы; описание основных преимуществ желательных генотипов бета-казеина и правильного его применения в селекционной работе.

Нами был проведен анализ данных частоты встречаемости аллелей A1 и A2 бета-казеина, а также частоты встречаемости генотипов A1A1, A1A2, A2A2. В табл. 1, 2 частота встречаемости генотипов и аллелей указана в долях. Использованные статьи российских и зарубежных источников находятся в открытом доступе и опубликованы не раньше 2014 года. В табл. 1 представлены результаты исследований зарубежных авторов.

Таблица 1

ДНК-диагностика гена бета-казеина молочного скота разных пород

Страна	Число животных	Порода	Частота встречаемости генотипов			Частота встречаемости аллелей		Ссылка
			A1A1	A1A2	A2A2	A1	A2	
Пакистан	40	Голштинская	0	0,6000	0,400	0,3000	0,7000	[20]
Италия	1629		0,1320	0,4580	0,410	0,3610	0,6390	[24]
Греция	780		0,0330	0,4450	0,522	0,2560	0,7440	[26]
Хорватия	60		0,1340	0,4330	0,433	0,3500	0,6500	[16]
Китай	133		0,2710	0,4440	0,285	0,4920	0,5080	[14]
Швеция	415		0,0890	0,4460	0,4650	0,3120	0,6880	[15]
Япония	590	Джерсейская	0,0320	0,3040	0,6640	0,1840	0,8160	[21]
Мексика	453		0,0800	0,3640	0,5560	0,2620	0,7380	[27]
Швеция	406		0,1080	0,3820	0,5100	0,2990	0,7010	[15]
Пакистан	40	Сахивал	0	0,0750	0,9250	0,0370	0,9630	[20]
Украина	31	Белоголовая украинская	0,4800	0,5200	0	0,7400	0,2600	[18]
Украина	133	Серая украинская	0,0580	0,9420	0	0,5290	0,4710	[18]
Украина	40		0,2700	0,5300	0,2000	0,5350	0,4650	[18]
Пакистан	50	Гибрид (сахивал $\times$ голштинская)	0	0,3600	0,6400	0,1800	0,8200	[20]
Бразилия	68	Гир	0	0,0440	0,9560	0,0220	0,9780	[23]
Бразилия	88	Гузера	0	0,0680	0,9320	0,0340	0,9660	[23]
Польша	177	Красная польская	0,3670	0,5260	0,1070	0,6300	0,3700	[13]
Тайланд	231	Гибрид (голштинская $\times$ зебу)	0,0740	0,6400	0,2860	0,3940	0,6060	[19]
Хорватия	60	Симментальская	0,0330	0,4170	0,5500	0,2420	0,7580	[16]
Хорватия	60	Бурая швицкая	0,0670	0,5170	0,4160	0,3250	0,6750	[16]

Анализ частоты встречаемости гена бета-казеина в представленной выборке свидетельствует о значительном преобладании аллеля A2, самые высокие показатели частоты встречаемости имеют следующие породы: гир в Бразилии (0,978), сахивал в Пакистане (0,962), животные породы гузера в Бразилии (0,966), гибрид (сахивал $\times$ голштинская) в Пакистане (0,820), джерсейская по-



рода, рассмотренная в исследованиях трех стран – Япония, Мексика, Швеция, с частотой встречаемости аллеля A2 – 0,816; 0,738; 0,701 соответственно [15, 20, 21, 23, 27].

Частота встречаемости аллеля A1 превышает частоту встречаемости аллеля A2 только в двух исследованиях – у белоголовой украинской породы (0,740) и у красной польской (0,630). Таким образом, у этих же пород наиболее низкая встречаемость аллеля A2 – 0,260 и 0,370 соответственно [13, 18].

Среди имеющихся данных преобладание генотипа A2A2 выявлено у породы сахивал (0,93), гибрида (сахивал × голштинская) (0,640), а также у гира (0,956), гузера (0,932), симментальской (0,550), джерсейской пород, в таких странах, как Япония (0,6640), Мексика (0,5560), Швеция (0,5100). Генотип A1A2 доминирует в остальных представленных породах. Исключение составляет порода бурая швицкая, здесь генотип A1A1 встречается чаще – 0,670 [15, 16, 20, 21, 23, 27].

Отдельно можно выделить голштинскую породу. Она отличается высокой молочной продуктивностью и специализированным молочным типом, а также обладает высоким генетическим потенциалом молочности [1, 9]. Данная порода самая изучаемая во всех странах мира. Результаты генотипирования по бета-казеину показывали значительное преобладание аллеля A2 над аллелем A1.

В табл. 2 представлена частота встречаемости аллелей и генотипов маточного поголовья племенных хозяйств, находящихся на территории Российской Федерации. На данный момент доступных исследований аллелей бета-казеина A1 и A2 в нашей стране встречается меньше, чем за рубежом. Те исследования, которые нам удалось найти, представлены ниже.

Таблица 2

ДНК-диагностика гена бета-казеина маточного поголовья разных пород, разводимых на территории РФ

Хозяйство, регион	Количество животных	Частота встречаемости генотипов			Частота встречаемости аллелей		Ссылка
		A1A1	A1A2	A2A2	A1	A2	
Черно-пестрая порода							
ООО «Агропредприятие имени Калинина», Стерлитамакский район, Республика Башкортостан	174	0,8500	0,1200	0,0300	0,9100	0,0900	[10]
Джерсейская порода							
ООО «Агроальянс Инвест» Ставропольский край, Александровский район, с. Калиновское	609	0,0400	0,3600	0,6000	0,2200	0,7800	[17]
Голштинская порода							
АО «Агрообъединение «Кубань», Краснодарский край	1081	0,2600	0,5300	0,2100	0,5200	0,4800	[7]
Айширская порода							
КФК Ильченко Ю. В., Краснодарский край; КФК Езубов А. И., Краснодарский край	917	0,2400	0,5100	0,2500	0,4900	0,5100	[17]
АО «Агрообъединение «Кубань», Краснодарский край	685	0,3600	0,4500	0,1900	0,5900	0,4100	[7]
Холмогорская порода							
ООО «Племхоз Ухта-97», Республика Коми	38	0,1300	0,5500	0,3200	0,4080	0,5920	[6]
ООО «Агрофирма Холмогорская», Архангельская область	147	0,4400	0,3300	0,2300	0,6000	0,4000	[12]

В своем исследовании М. А. Парамонова с соавторами выявили у коров черно-пестрой породы существенное преобладание генотипа A1A1 (0,85), в то время как у животных с гетерозиготным генотипом частота встречаемости составила 0,12, а у коров с генотипом A2A2 – 0,03. Частота встречаемости аллеля A1 в сравнении с аллелем A2 больше в 4 раза. Также авторы выявили зависимость между количеством удоя и генотипом по гену бета-казеина. Коровы с гетерозиготным генотипом имеют более высокий показатель удоя (6858,8 кг), он превосходит A1A1 на 438 кг и A2A2 на 78 кг. Данные, полученные авторами, свидетельствуют о положительном влиянии гетерозиготного генотипа бета-казеина A1A2 на молочную продуктивность коров черно-пестрой породы [10].

Исследования Н. В. Ковалюк показали, что у животных джерсейской породы частота встречаемости аллеля A2 составила 0,78. Это самый высокий показатель среди рассмотренных данных, также эта порода животных имеет высокую частоту встречаемости генотипа A2A2 (0,6). Животных с гомозиготным генотипом A1A1 в исследуемом стаде незначительное количество. Они



рекомендуют отечественным племенным предприятиям, реализующим семенную продукцию айширских и голштинских пород, увеличить долю быков-производителей с генотипами A2A2 [17].

Авторы в своей работе также изучили полиморфизм гена бета-казеина у маточного поголовья айширской породы. Исследование проведено в сельхоз предприятиях КФК Ильченко Ю. В. и КФК Езубов А. И. Краснодарского края, частота встречаемости аллеля A1 составляет 0,49 и аллеля A2 0,51. Также в своих исследованиях двумя годами ранее, проводимых на базе АО «Агрообъединение «Кубань» Краснодарского края, подтверждено, что и здесь в стаде частота встречаемости аллеля практически одинакова и составляет соответственно A1 – 0,59 и A2 – 0,41, также в обоих хозяйствах преобладает генотип A1A2 – 0,51 и 0,45 соответственно. В этом же хозяйстве похожее распределение частот имеют коровы голштинской породы. Аллель A1 имеет частоту 0,52, A2 – 0,48. Преобладает гетерозиготный генотип A1A2 (0,53) [7, 17].

При изучении коров холмогорской породы было обнаружено преобладание генотипа A1A2 (0,55) в работе Л.А. Калашниковой и соавторов. Генотипы A1A1 и A2A2 имеют частоту встречаемости 0,13 и 0,32 соответственно. Также частота аллелей A1 составила 0,41 и A2 – 0,59. Коровы с генотипом A1A1 имели лучший показатель по удою, а также наиболее высокий показатель жирномолочности, в то время как генотипы A1A2 и A2A2 более белкомолочные [6].

Исследование полиморфизма гена бета-казеина в стаде ООО «Агрофирма «Холмогорская» у маточного поголовья холмогорской породы показало следующие результаты: частота встречаемости аллеля A1 (0,6) выше частоты встречаемости аллеля A2 (0,4). Также выявлено преобладание генотипа A1A1 (0,44) над генами A1A2 и A2A2.

В своих исследованиях И.Ю. Подречнева с соавторами изучили полиморфизм гена бета-казеина у быков-производителей в Голодном центре по воспроизводству сельскохозяйственных животных (п. Быково АО «ГЦВ» и АО «ЯРПЛЕМ»). Подобные исследования, но уже с холмогорской породой, провели Л.В. Калашникова с соавторами на племпредприятиях Архангельской области и Республики Коми (табл. 3).

Таблица 3

ДНК-диагностика гена бета-казеина быков-производителей разных пород, разводимых на территории РФ

Хозяйство, регион	Количество животных	Частота встречаемости генотипов			Частота встречаемости аллелей		Ссылка
		A1A1	A1A2	A2A2	A1	A2	
Черно-пестрая порода							
АО «ГЦВ» и АО «ЯРПЛЕМ»	13	0,1538	0,7696	0,0769	0,5385	0,4615	[8]
Джерсейская порода							
АО «ГЦВ» и АО «ЯРПЛЕМ»	13	0,1540	0,5384	0,3076	0,4231	0,5769	[8]
Голштинская порода							
АО «ГЦВ» и АО «ЯРПЛЕМ»	92	0,1315	0,3815	0,4870	0,3224	0,6776	[8]
Айширская порода							
АО «ГЦВ» и АО «ЯРПЛЕМ»	11	0,3636	0,3636	0,3728	0,5454	0,4546	[8]
Ярославская порода							
АО «ГЦВ» и АО «ЯРПЛЕМ»	8	0,5000	0,3750	0,1250	0,6875	0,3125	[8]
Костромская порода							
АО «ГЦВ» и АО «ЯРПЛЕМ»	8	0	0,3750	0,6250	0,1875	0,8125	[8]
Холмогорская порода							
АО «Архангельское племпредприятие»	88	0,2500	0,5200	0,2300	0,5110	0,4890	[5]
РГУСП «Коми» по племенной работе	101	0,2100	0,5300	0,2600	0,4750	0,5250	[5]

В исследованиях И.Ю. Подречневой выявлено, что у быков-производителей черно-пестрой породы частота встречаемости аллеля A1 (0,54) не сильно отличается от частоты аллеля A2 (0,46). Генотип A1A2 (0,77) значительно превышает гомозиготные генотипы. Наиболее высокий показатель желательного генотипа A2A2 имели быки-производители костромской породы, частота генотипа составила 0,62. Если же рассматривать частоту встречаемости аллеля A2, то наиболее высокие показатели имеют быки костромской (0,81) и голштинской (0,68) пород [8].

Быки-производители холмогорской породы в Республике Коми и Архангельской области не имеют существенных отличий в частоте встречаемости аллелей. У быков в Архангельской области аллель A1 составляет 0,475, тогда как в хозяйстве Республики Коми этот же аллель – 0,51, а аллель A2 – 0,52 и 0,48 соответственно, при этом в обоих регионах преобладает генотип A1A2 [5].



Проанализировав данные, можно сделать вывод, что такие породы, как голштинская, джерсейская, сахивал, белоголовая украинская, серая украинская, гибрид (сахивал × голштинская), гир, гузера, красная польская, гибрид (голландская × зебу) в подавляющем большинстве имеют аллель A2 и генотипы A1A2, A2A2. Это можно объяснить тем, что в 1990-х годах начались исследования аллеля A2 бета-казеина в Новой Зеландии, из-за чего возрос интерес к «молоку A2» как в научном сообществе, так и у производителей молока. Появилось множество статей в СМИ, и некоторые крупные сельхозпредприятия, воспользовавшись общественным интересом, стали производить и продавать «молоко A2» как продукт премиального сегмента рынка. Это, в свою очередь, вызвало спрос на коров с желательным генотипом A2A2 [3].

Среди маточного поголовья животных, разводимых на территории РФ, преобладает генотип A1A2. У большинства пород частота аллелей A1 и A2 отличается незначительно. Исключение составляют породы черно-пестрая, где более распространен аллель A1, и джерсейская, где превышает аллель A2.

У быков-производителей, как и у маточного поголовья, частота встречаемости аллелей A1 и A2 находится примерно в одинаковых диапазонах. Однако имеются породы как с преобладанием аллеля A1 (ярославская), так и с преобладанием аллеля A2 (голландская и костромская). Генотип A1A1 преобладает только в ярославской породе, в остальных породах доминируют генотипы A1A2 и A2A2.

В целом, изученные данные свидетельствуют о хорошем потенциале селекционного отбора животных для увеличения частоты встречаемости генотипа A2A2 гена бета-казеина.

На данный момент продолжается изучение влияния аллелей бета-казеина на качество, состав и удой молока. Но данных по аллелям A1, A2 у российских авторов меньше, чем у зарубежных. Это подтверждает необходимость проведения дальнейших исследований в этой области.

Статья подготовлена в рамках выполнения темы государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН «Разработка системы производства полноценной и экологически безопасной продукции отрасли молочного животноводства в АЗ РФ на основе использования генотипированных племенных животных» (FUUW-2021-0005) (регистрационный номер – 121122800216-6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беленькая А. Е. Продуктивность коров голштинской породы в зависимости от генетических и паратипических факторов в условиях Северного Зауралья // Вестник Курганской ГСХА. 2018. №3 (27). С. 13–18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/produktivnost-korov-golshtinskoj-porody-v-zavisimosti-ot-geneticheskix-i-paratipicheskix-faktorov-v-usloviyah-severnogo-zauryalya>.
2. Валитов Ф. Р. Ассоциация полиморфизма гена бета-казеина с молочной продуктивностью коров плановых пород Республики Башкортостан // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. Т. 1 (63). С. 207–209. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/assotsiatsiya-polimorfizma-gena-beta-kazeina-s-molochnoy-produktivnostyu-korov-planovyh-porod-respubliki-bashkortostan>.
3. Горлов И. Ф., Сычева О. В., Кононова Л. В. Бета-казеин: известный, но не познанный // Молочное и мясное скотоводство. 2016. № 6. С. 18–19. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26902474>.
4. Достижения и актуальные проблемы генетики, биотехнологии и селекции животных, Витебск, 03–05 нояб. 2021 г. Витебск: Учреждение образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», 2021. С. 38–42. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47278089>.
5. Полиморфизм гена бета-казеина у холмогорской породы крупного рогатого скота / Л. А. Калашникова [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. 2021. № 2. С. 22–24. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45588006>.
6. Полиморфизм гена бета-казеина у холмогорских коров / Л. А. Калашникова [и др.] // Зоотехния. 2019. № 5. С. 8.
7. Ковалюк Н. В., Сацук В. Ф., Ковалюк М. А., Мачульская Е. В. Селекция крупного рогатого скота по полиморфному гену бета-казеина в Краснодарском Крае // Генетика и разведение животных. 2019. № 1. С. 22–26. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37368424>.
8. Подречнева И. Ю., Щеголев П. О., Белокуров С. Г. Аллельный полиморфизм генов csn3 и CSN2 у быков-производителей молочных пород // МНИЖ. 2020. Т. 1. № 5 (95). С. 109–113. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/allelnyy-polimorfizm-genov-csn3-i-csn2-u-bykov-proizvoditeley-molochnyh-porod>.
9. Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодежи, Курган, 21 нояб. 2019 г. Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2019. С. 299–305. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=4253027>.
10. Современные научные гипотезы и прогнозы: от теории к практике, Санкт-Петербург, 30–31 августа 2021 г. С.-Пб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет. 2021. С. 84–86.
11. Современные тенденции в научном и кадровом обеспечении АПК, Великий Новгород, 28–29 нояб. 2019 г. Великий Новгород: Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, 2020. С. 246–251. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42923278>.
12. Худякова Н. А., Кудрина М. А., Ступина А. О. Частота встречаемости генов молочных белков у коров холмогорской породы // Молочная промышленность. 2022. № 12. С. 54–56.
13. Genetic Polymorphism of β -Casein Gene in Polish Red Cattle-Preliminary Study of A1 and A2 Frequency in Genetic Conservation Herd / A. Cieślińska et al. // Animals (Basel). 2019. Т. 9(6). P. 377. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2->



s2.0-85079359269&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Genetic+Polymorphism+of+β-Casein+Gene+in+Polish+Red+Cattle-Preliminary+Study+of+A1+and+A2+Frequency+in+Genetic+Conservation+Herd&sid=04810ac9afc49bf71bf6679df5a7d3f6&sot=b&sdt=b&sl=143&s=TITLE-ABS-KEY%28Genetic+Polymorphism+of+β-Casein+Gene+in+Polish+Red+Cattle-Preliminary+Study+of+A1+and+A2+Frequency+in+Genetic+Conservation+Herd%29&relpos=0&citeCnt=18&searchTerm=.

14. Identification of alleles and genotypes of beta-casein with DNA sequencing analysis in Chinese Holstein cow / R. Dai et al. // Journal of Dairy Research. 2016. T. 8 (3). P. 312–316. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84986327488&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Identification+of+alleles+and+genotypes+of+beta-casein+with+DNA+sequencing+analysis+in+Chinese+Holstein+cow&sid=72485b392f50a7de85a465445b25eaf0&sot=b&sdt=b&sl=122&s=TITLE-ABS-KEY%28Identification+of+alleles+and+genotypes+of+beta-casein+with+DNA+sequencing+analysis+in+Chinese+Holstein+cow%29&relpos=0&citeCnt=16&searchTerm=>.

15. Effects of breed and casein genetic variants on protein profile in milk from Swedish Red, Danish Holstein, and Danish Jersey cows / F. Gustavsson et al. // Journal of Dairy Science. 2014. T. 97 (6). P. 3866–3877. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84901007331&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Effects+of+breed+and+casein+genetic+variants+on+protein+profile+in+milk+from+Swedish+Red%2c+Danish+Holstein%2c+and+Danish+Jersey+cows&sid=8566f5c93ecce6e315e56682b552d22a&sot=b&sdt=b&sl=144&s=TITLE-ABS-KEY%28Effects+of+breed+and+casein+genetic+variants+on+protein+profile+in+milk+from+Swedish+Red%2c+Danish+Holstein%2c+and+Danish+Jersey+cows%29&relpos=0&citeCnt=70&searchTerm=>.

16. Ivanković A., Pečina M., Ramljak J., Pašić V. Genetic polymorphism and effect on milk production of CSN2 gene in conventional and local cattle breeds in Croatia // Mljekarstvo. 2021. T. 71 (1). P. 3–12. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85098126220&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Genetic+polymorphism+and+effect+on+milk+production+of+CSN2+gene+in+conventional+and+local+cattle+breeds+in+Croatia&sid=f0f847eb3ac6ca61aee9f222ab475cce&sot=b&sdt=b&sl=129&s=TITLE-ABS-KEY%28Genetic+polymorphism+and+effect+on+milk+production+of+CSN2+gene+in+conventional+and+local+cattle+breeds+in+Croatia%29&relpos=0&citeCnt=3&searchTerm=>.

17. Shiryayeva E., Yakusheva L., Kaishev V., Aisanov Z. Frequency distribution of polymorphic variants of the beta-casein locus in Russian various breed cattle subpopulation / N. Kovalyuk et al. // E3S Web of Conferences. 2021. T. 262. P. 1–3. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85107126283&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=allele+frequency%2c+beta-casein%2c+cattle%2c+breed&nlo=&nlr=&nls=&sid=29366cefe8a780f7718bb284b845d106&sot=b&sdt=cl&cluster=scofreetoread%2c%22all%22%2ct&sl=59&s=TITLE-ABS-KEY%28allele+frequency%2c+beta-casein%2c+cattle%2c+breed%29&relpos=3&citeCnt=0&searchTerm=>.

18. Mokhnachova N. B. Analysis of beta-casein gene (CSN2) in populations of gray Ukrainian breed of cattle // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2021. № 24. P. 112–121. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46272067>.

19. Molee A., Boonek L., Rungsakinnin N. The effect of beta and kappa casein genes on milk yield and milk composition in different percentages of Holstein in crossbred dairy cattle // Animal Science Journal. 2011. T. 82. P. 512–516. URL: [https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-79960836041&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=The+effect+of+beta+and+kappa+casein+genes+on+milk+yield+and+milk+composition+in+different+percentages+of+Holstein+in+crossbred+dairy+cattle&sid=56c8df9c727bbe275e6577265277d1f5&sot=b&sdt=b&sl=154&s=TITLE-ABS-KEY%28The+effect+of+beta+and+kappa+casein+genes+on+milk+yield+and+milk+composition+in+different+percentages+of+Holstein+in+crossbred+dairy+cattle&sid=56c8df9c727bbe275e6577265277d1f5&sot=b&sdt=b&sl=154&s=TITLE-ABS-KEY%28The+effect+of+beta+and+kappa+casein+genes+on+milk+yield+and+milk+composition+in+different+percentages+of+Holstein+in+crossbred+dairy+cattle%29&relpos=0&citeCnt=9&searchTerm=](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-79960836041&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=The+effect+of+beta+and+kappa+casein+genes+on+milk+yield+and+milk+composition+in+different+percentages+of+Holstein+in+crossbred+dairy+cattle&sid=56c8df9c727bbe275e6577265277d1f5&sot=b&sdt=b&sl=154&s=TITLE-ABS-KEY%28The+effect+of+beta+and+kappa+casein+genes+on+milk+yield+and+milk+composition+in+different+percentages+of+Holstein+in+crossbred+dairy+cattle%29&relpos=0&citeCnt=9&searchTerm=).

20. β casein Polymorphism in Indigenous and Exotic Cattle Breeds of Pakista / S. Mumtaz et al. // Pakistan Journal of Zoology. 2022. T. 54 (3). P. 1451–1454. URL: <http://researcherslinks.com/current-issues/Casein-Polymorphism-Indigenous-Exotic-Cattle-Breeds-Pakistan/20/3/4773/html>.

21. Nuomin Nguyen Q. D., Aodaohu Nishino N. Frequency of β-Casein Gene Polymorphisms in Jersey Cows in Western Japan // Animals. 2022. T. 12 (16). P. 1–7. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85138072053&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=allele+frequency%2c+beta-casein%2c+cattle%2c+breed&nlo=&nlr=&nls=&sid=29366cefe8a780f7718bb284b845d106&sot=b&sdt=cl&cluster=scofreetoread%2c%22all%22%2ct&sl=59&s=TITLE-ABS-KEY%28allele+frequency%2c+beta-casein%2c+cattle%2c+breed%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=>.

22. Identification of β Casein Genotypes in Indian Gir and Crossbred Exotic Cows from Mumbai Dairy Farms / P. H. Paradkar et al. // Asian Journal of Dairy and Food Research. 2021. T. 40 (4). P. 384–387. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85126148474&doi=10.18805%2fajdr.DR-1659&origin=inward&txGid=f1043f564fa14cb94e96a49740ab41dc>.

23. Polymorphism in the Beta Casein Gene and analysis of milk characteristics in Gir and Guzerà dairy cattle / A. H. N. Rangel et al. // Genetics and Molecular Research. 2017. T. 16 (2). URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85020050335&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Polymorphism+in+the+Beta+Casein+Gene+and+analysis+of+milk+characteristics+in+Gir+and+Guzerá+dairy+cattle&sid=b48d25b7dde269748ed2f48c3dd518b0&sot=b&sdt=b&sl=118&s=TITLE-ABS-KEY%28Polymorphism+in+the+Beta+Casein+Gene+and+analysis+of+milk+characteristics+in+Gir+and+Guzerá+dairy+cattle%29&relpos=0&citeCnt=19&searchTerm=>.

24. Frequencies evaluation of β-Casein gene polymorphisms in dairy cows reared in central Italy / C. Sebastiani et al. // Animals. 2020. T. 10 (2). P. 1–7. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85079446264&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=allele+frequency%2c+beta-casein%2c+cattle%2c+breed&nlo=&nlr=&nls=&sid=29366cefe8a780f7718bb284b845d106&sot=b&sdt=cl&cluster=scofreetoread%2c%22all%22%2ct&sl=59&s=TITLE-ABS-KEY%28allele+frequency%2c+beta-casein%2c+cattle%2c+breed%29&relpos=6&citeCnt=28&searchTerm=>.

25. Kamiński S., Cieślińska A., Kostyra E. Polymorphism of bovine beta-casein and its potential effect on human health // Journal of Applied Genetics volume. 2007. №48. P. 189–198. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-34548348913&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Polymorphism+of+bovine+beta-casein+and+its+potential+effect+on+human+health&sid=2c1c35376bfe9317d7b68039d0e04578&sot=b&sdt=b&sl=90&s=TITLE-ABS-KEY%28Polymorphism+of+bovine+beta-casein+and+its+potential+effect+on+human+health%29&relpos=3&citeCnt=186&searchTerm=>.

26. Vougiouklaki D., Antonopoulos D., Allexeli S., Houhoula D. Identification of Polymorphisms of Gene CSN2 of B Casein in Greek Cow Breeds (Holstein) by Restriction Fragment Length Polymorphism // Thai Journal of Agricultural Science.

2020. T. 12 (11). P. 32. URL: https://www.researchgate.net/publication/344668872_Identification_of_Polymorphisms_of_Gene_CSN2_of_B_Casein_in_Greek_Cow_Breeds_Holstein_by_Restriction_Fragment_Length_Polymorphism.

27. Polymorphism of three milk protein genes in Mexican Jersey cattle / J. L. Zepeda-Batista et al. // *Electronic Journal of Biotechnology*. 2015. T. 18 (1). P. 1–4. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84922462248&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Polymorphism+of+three+milk+protein+genes+in+Mexican+Jersey+cattle&sid=3b8ff0435da8dae596a8c5cd9d9f5ed4&sot=b&sdt=b&sl=80&s=TITLE-ABS-KEY%28Polymorphism+of+three+milk+protein+genes+in+Mexican+Jersey+cattle%29&relpos=0&citeCnt=22&searchTerm=>

REFERENCE

1. Belenkaya A. E. Productivity of cows of the golshstinskaya breed depending on genetic and paratypical factors under the conditions of the Northern Ural. *Bulletin of the Kurgan state agricultural academy*. 2018;3(27): 13–18. (In Russ.).
2. Valitov F. R. Association of beta-casein gene polymorphism with milk productivity of cows of planned breeds of the Republic of Bashkortostan. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. 2017;1(63):207–209. (In Russ.).
3. Gorlov I. F., Sycheva O. V., Kononova L. V. Beta casein: known but not learnt. *Dairy and beef cattle breeding*. 2016;(6):18–19. (In Russ.).
4. Achievements and current problems of genetics, biotechnology and animal breeding (Vitebsk, November 03–05, 2021). Vitebsk: Educational Institution “Vitebsk State Awarded the “Badge of Honour” Order Veterinary Medicine Academy”; 2021. P. 38–42. (In Russ.).
5. Polymorphism in the beta casein gene in the Kholmogory breed of cattle / L. A. Kalashnikova et al. *Dairy and beef cattle breeding*. 2021;(2):22–24. (In Russ.).
6. Polymorphism of beta casein gene in Kholmogory cows / L. A. Kalashnikova et al. *Zootechnics*. 2019;(5):8. (In Russ.).
7. Kovalyuk N., Satsuk V., Kovalyuk M., Machulskaya E. Selection of cattle for polymorphic beta-casein gene in the Krasnodar Territory. *Genetics and animal breeding*. 2019;(1):22–26. (In Russ.).
8. Podrechnaya I. Y., Schegolev P. O., Belokurov S. G. Allele polymorphism of CSN3 and CSN2 genes milk-breeding bulls. *International research journal*. 2020;1(5-95):109–113. (In Russ.).
9. Development of scientific, creative and innovative activities of youth (Kurgan, November 21, 2019). Kurgan: Kurgan state agricultural academy. T.S. Maltseva; 2019. P. 299–305. (In Russ.).
10. Modern scientific hypotheses and forecasts: from theory to practice (St. Petersburg, 30-31 august 2021). St. Petersburg: St. Petersburg State University of Economics; 2021. P. 84–86. (In Russ.).
11. Modern trends in the scientific and staffing of the agro-industrial complex (Veliky Novgorod, November 28–29, 2019). Veliky Novgorod: Novgorod State University named after Yaroslav the Wise; 2020. P. 246–251. (In Russ.).
12. Hudyakova N. A., Kudrina M. A., Stupina A. O. The frequency of occurrence of milk protein genes in cows of the Kholmogory breed. *Dairy industry*. 2022;(12):54–56. (In Russ.).
13. Genetic Polymorphism of β -Casein Gene in Polish Red Cattle-Preliminary Study of A1 and A2 Frequency in Genetic Conservation Herd / A. Cieślińska et al. *Animals (Basel)*. 2019;9(6):377.
14. Identification of alleles and genotypes of beta-casein with DNA sequencing analysis in Chinese Holstein / R. Dai et al. *Journal of Dairy Research*. 2016;83(3):312–316.
15. Effects of breed and casein genetic variants on protein profile in milk from Swedish Red, Danish Holstein, and Danish Jersey cows / F. Gustavsson et al. *Journal of Dairy Science*. 2014;97(6):3866–3877.
16. Ivanković A., Pečina M., Ramljak J., Pašić V. Genetic polymorphism and effect on milk production of CSN2 gene in conventional and local cattle breeds in Croatia. *Mljekarstvo*. 2021;71(1):3–12.
17. Kovalyuk N., Shiryayeva E., Yakusheva L., Kaishev V., Aisanov Z. Frequency distribution of polymorphic variants of the beta-casein locus in Russian various breed cattle subpopulations. *E3S Web of Conferences*. 2021;262:1–3.
18. Mokhnachova N. B. Analysis of beta-casein gene (CSN2) in populations of gray Ukrainian breed of cattle. *Current problems of the intensive development of animal husbandry*. 2021;(24):112–121.
19. Molee A., Boonek L., Rungsakinnin N. The effect of beta and kappa casein genes on milk yield and milk composition in different percentages of Holstein in crossbred dairy cattle. *Animal Science Journal*. 2011;82:512–516.
20. β casein Polymorphism in Indigenous and Exotic Cattle Breeds of Pakistan / S. Mumtaz et al. *Pakistan Journal of Zoology*. 2022;54(3):1451–1454.
21. Nuomin Nguyen Q. D., Aodaohu Nishino N. Frequency of β -Casein Gene Polymorphisms in Jersey Cows in Western Japan. *Animals*. 2022;12(16):1–7.
22. Identification of β Casein Genotypes in Indian Gir and Crossbred Exotic Cows from Mumbai Dairy Farms // P. H. Paradkar et al. *Asian Journal of Dairy and Food Research*. 2021;40(4):384–387.
23. Polymorphism in the beta casein gene and analysis of milk characteristics in Gir and Guzera dairy cattle / A. H. N. Rangel et al. *Genetics and Molecular Research*. 2017;16(2).
24. Frequencies evaluation of β -Casein gene polymorphisms in dairy cows reared in central Italy / C. Sebastiani et al. *Animals*. 2020;10(2):1–7.
25. Kamiński S., Cieślińska A., Kostyra E. Polymorphism of bovine beta-casein and its potential effect on human health. *Journal of Applied Genetics volume*. 2007;(48):189–198.
26. Vougiouklaki D., Antonopoulos D., Allexeli S., Houhoula D. Identification of Polymorphisms of Gene CSN2 of B Casein in Greek Cow Breeds (Holstein) by Restriction Fragment Length Polymorphism. *Thai Journal of Agricultural Science*. 2020;12 (11):32.
27. Polymorphism of three milk protein genes in Mexican Jersey cattle / J. L. Zepeda-Batista et al. *Electronic Journal of Biotechnology*. 2015;1 (1):1–4.

Статья поступила в редакцию 15.12.2022; одобрена после рецензирования 09.01.2023; принята к публикации 16.01.2023.
The article was 15.12.2022; approved after reviewing 09.01.2023; accepted for publication 16.01.2023.

