

**МОНИТОРИНГ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНА БЕТА-КАЗЕИНА
(CSN2) У БЫКОВ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ В ПЛЕМЕННЫХ СТАДАХ
ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Михайлова Ю.А., Тамарова Р.В.

*Ярославская государственная сельскохозяйственная академия,
Ярославль, Российская Федерация*

Интерес к изучению локуса бета-казеина связан с тем, что продукты некоторых его аллелей вызывают серьёзные отклонения в организме человека. Бета-казеин (CSN2) является вторым по распространённости и по содержанию в молоке коров, уступая только казеину альфа-S1. Из двенадцати генетических вариантов β -казеина наибольшими ухудшателями молока коров являются β -CNA1 и β -CNB. Главная причина неблагоприятных генетических сдвигов – это жёсткая селекция и широкое использование небольшого количества элитных быков, искусственное осеменение большого массива коров, множественная овуляция и эмбриотрансплантация (МОЭТ). Поступление мутантного β -CNA1 аллеля в Россию происходит за счёт покупки племенного материала (животные, семя, эмбрионы). С целью оценки возможности отечественных племенных предприятий для ведения селекции на повышение сыропригодности и безопасности молока, проведен мониторинг генотипирования по локусу CSN2 (бета-казеин) и CSN3 (каппа-казеин) на выборке быков-производителей ярославской породы и улучшенных генотипов (n=60). Установлено, что у быков-производителей ярославской породы частота встречаемости желательного варианта A2A2 по локусу CSN2 (1%) значительно ниже, чем у быков улучшенных генотипов (25%). По частоте встречаемости комплексных желательных генотипов CSN2 и CSN3 ярославские чистопородные быки (33%) преобладают над быками улучшенных генотипов (13%). Заключение, что отечественным племенным предприятиям для повышения конкурентоспособности необходимо увеличить долю быков с генотипами A2A2 (локус CSN2), AB и BB (локус CSN3).

Проблемы биологии продуктивных животных. 2023, 2: 28-36

Ключевые слова: бета-казеин, каппа-казеин, генотипы, частота встречаемости, быки-производители, реализация родительского индекса, дочери, комбинации скрещиваний

Введение

В России молоко и молочные продукты A2 уже начали производить в Московской и Белгородской областях. В настоящее время цена молока A2 отличается от цены обычного молока более чем в два раза.

Установлено, что β -CNA1 является мутантным и образован из β -CNA2 аллеля. Исследованиями последних 20 лет показано, что β -CNA1 вариант белка молока крупного рогатого скота и его производное бета-казоморфин 7 при потреблении могут вызвать в организме человека ряд патологических нарушений в работе кишечника, ишемическую болезнь сердца, диабет, аутизм у детей и даже синдром внезапной смерти новорожденных. Причем, из β -CNA1 варианта белка бета-казеина молока крупного рогатого скота образуется в

4 раза больше бета-казоморфина 7, чем из β -CNA2 (Elliot et al., 1999; Kaminski et al., 2007; Гуськова, 2017).

Известно, что козье, овечье, верблюжье, кобылье, отчасти от коров *Bos indicus* L. и *Bos taurus* L., а самое главное, женское грудное молоко, с точки зрения биохимии относится к А2 бета-казеиновому молоку. До сих пор учёные не могут доказать, от чего произошла мутация (β -CNA2 \rightarrow β -CNA1), как, впрочем, и многие другие генетические сбои в организме высокомоленных пород крупного рогатого скота.

Доля бета-казеина (CSN2) в молочном белке составляет 25...35%. Молекула CSN2 состоит из одной полипептидной цепи, содержащей 209 аминокислотных остатков, в том числе 5 остатков фосфосерина. Молекулярная масса составляет 23983 Да. Ген имеет длину 10338 п.о. и состоит из 9 экзонов и 8 интронов. Данный молочный белок является полиморфным, и его варианты различаются по аминокислотному составу и электрофоретической подвижности.

В настоящее время у крупного рогатого скота известно двенадцать генетических вариантов β -казеина: А1, А2, А3, В, С, D, Е, F, G, Н1, Н2 и I. Изменённые положения аминокислот у вариантов бета-казеина представлены в табл. 1.

Таблица 1. Изменённые положения аминокислот у вариантов CSN2

Аллели	Изменённые положения аминокислот													
	18	25	35	36	37	67	72	88	93	106	117	122	137	138
A2	Ser-P	Arg	Ser-P	Glu	Glu	Pro	Glu	Leu	Gln	His	Gln	Ser	Leu	Pro
A1						His								
A3										Gln				
B						His						Arg		
C			Ser		Lys	His								
D	Lys													
E				Lys										
F						His								Leu
G						His						Leu		
H1		Cys						Ile						
H2							Gln		Leu					Glu
I									Leu					

Выявленный полиморфизм белков 12 аллелей бета-казеина показал, что они отличаются от β -CNA2 белка по 1-2-3 аминокислотным остаткам. С учётом их эффективности, все аллели предложено делить на две группы. В первую группу входят аллели А1 ряда (β -CNA1, β -CNB, β -CNC, β -CNF, β -CNG), вторая группа представлена А2 рядом (β -CNA2, β -CNA3, β -CND, β -CNE, β -CNH1, β -CNH2, β -CNI). Всего из 12 аллелей в первую группу входит 5, а во вторую – 7 аллелей (Farrell et al., 2004; Kaminski et al., 2007).

Установлено, β -CNA1 аллель распространён в тех стадах, в которых использовались быки-носители. Коровы также являются поставщиком мутантного аллеля, но в меньшей степени. Они больше служат резерватом, т.е. хранителем его в стаде в виде гомозигот (β -CNA1/ β -CNA1) или гетерозигот (β -CNA1/ β -CNA2). Мутантный β -CNA1 аллель является кодоминантным фактором. Полученная новая информация имеет несомненное значение для диагностики аномальных аллелей в скотоводстве. Ранее выявленные мутантные аллели встречались только в виде рецессивных факторов (Горлов и др., 2016; Марзанов и др., 2021).

Аллель β -CNA2 оказывает положительное влияние на выход молочного белка и усиливает эффект аллеля В каппа-казеина в отношении сыродельческих свойств молока. Бета-казеин, не имеющий в своём составе цистеина и содержащий значительное количество неполярных аминокислот, является самой гидрофобной фракцией казеина, он склонен к

самоассоциации, чувствителен к ионам кальция при температуре 37 °С, но переходит в растворимое состояние при низких (ниже 5 °С) температурах. Образующиеся при протеолизе β-казеина под действием плазмина γ-казеины (и протеозо-пептоны) отрицательно сказываются на технологических свойствах молока (способности свертываться под действием сычужного фермента или кислоты, структурно-механических и синергетических свойств получаемых сгустков и т. д.), а также приводят к снижению выхода белковых продуктов. При ассоциации с αs1- и β-казеинами κ-казеин образует стабильные мицеллы и, таким образом, защищает последние от осаждения ионами кальция.

Цель данной работы – провести мониторинг полиморфизма гена бета-казеина (CSN2) у быков-производителей за последние 5 лет, проанализировать варианты скрещивания животных различных генотипов по бета-казеину, оценить быков по дочернему потомству и выявить быков, устойчиво передающих потомству высокое содержание белка в молоке.

Материал и методы

В качестве информационной базы для исследований использованы каталоги быков производителей ОАО «Ярославское» по племенной работе, имеющих оценку по генотипам каппа-казеина и бета-казеина.

Подконтрольное поголовье составило 60 быков, из них 36 относятся к 7 линиям ярославской породы – Чародей ЯЯ-1544, Добрый ЯЯ-4627, Вольный ЯЯ-4370, Жилет ЯЯ-4574, Март ЯЯ-2456, Мурат ЯЯ-4388, Марс ЯЯ-4319 (n=24); к 3 линиям голштинской породы: Монтвик Чифтейн 95679, Рефлекшн Соверинг 198998, Уес Идеал 933122.

Родительские индексы быков рассчитывали по формуле:

$$РИБ = \frac{(2 \cdot M + MM + MO)}{4}, \quad (1)$$

где РИБ – родительский индекс быков по массовой доли белка (МДБ) в молоке, %; М – содержание белка в молоке матери, %; ММ – содержание белка в молоке матери матери; МО – содержание белка в молоке матери отца.

Реализация РИБ в дочернем потомстве рассчитывалась по формуле:

$$P_{РИБ} = \frac{B_{\phi}}{РИБ} \cdot 100, \quad (2)$$

где $P_{РИБ}$ – реализация родительского индекса быков по массовой доле белка в молоке, %; B_{ϕ} – фактическое содержание белка в молоке дочерей, %.

Результаты и обсуждение

На базе АО «Ярославское» действует региональный информационно-селекционный центр, в котором аккумулированы данные по стадам Ярославской области. Специалисты предприятия обобщают и анализируют базы данных о состоянии поголовья в информационно-аналитической системе РЕГИОН. На основании полученных анализов проводится мониторинг селекционно-генетических процессов в породах сельскохозяйственных животных региона. Итогом ежегодной работы является выпуск сборника по бонитировке «Племенная работа в животноводстве Ярославской области» и разработка селекционных программ по дальнейшему совершенствованию пород.

Главными поставщиками ярославских чистопородных быков-производителей являются ООО племзавод Горшиха и АО Племзавод Ярославка. Племенная работа начинается с выбора матерей и отцов будущих бычков. Возможные комбинации при скрещивании быков-

отцов и коров-матерей различных генотипов по бета-казеину представлены на рис. 1. Следует определиться, стоит ли считать генотип по бета-казеину дополнительным селекционным признаком и является ли эта селекция перспективной.

Коровы-матери	Быки-отцы		Коровы-матери	Быки-отцы		Коровы-матери	Быки-отцы				
		A1		A1			A1	A2		A1	A2
	A1	A1A1		A1A1	A1		A1A1	A1A2	A1	A1A1	A1A2
	A1	A1A1		A1A1	A1		A1A1	A1A2	A2	A1A2	A2A2
100 % A1A1			50 % A1A1 50 % A1A2			25 % A1A1 50 % A1A2 25 % A2A2					
Коровы-матери	Быки-отцы		Коровы-матери	Быки-отцы		Коровы-матери	Быки-отцы				
		A1		A2			A2	A2		A2	A2
	A2	A1A2		A2A2	A1		A1A2	A1A2	A2	A2A2	A2A2
	A2	A1A2		A2A2	A1		A1A2	A1A2	A2	A2A2	A2A2
50 % A1A2 50 % A2A2			100 % A1A2			100 % A2A2					

Рис. 1. Возможные комбинации при скрещивании животных различных генотипов по бета-казеину по решётке Пеннета. Обозначения генотипов бета-казеина у быков-отцов и коров-матерей: A1A1 – β -CNA1/ β -CNA1; A1A2 – β -CNA1/ β -CNA2; A2A2 – β -CNA2/ β -CNA2. Обозначения аллелей бета-казеина у быков-отцов и коров-матерей: A1 – β -CNA1; A2 – β -CNA2.

На рис. 2 представлены данные по частоте встречаемости генотипов бета-казеина у быков-производителей, использовавшихся в процессе подбора в племенных стадах Ярославской области. Спаривание двух животных, у обоих из которых генотип вида β -CNA2/ β -CNA2 даст 100% потомства с β -CNA2/ β -CNA2, так же, как и в случае с двумя родителями носителей β -CNA1/ β -CNA1, 100% их потомства будут иметь β -CNA1/ β -CNA1.

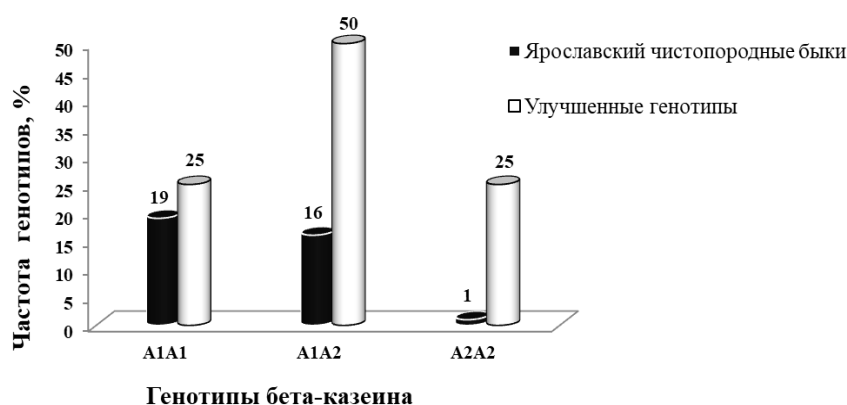


Рис. 2. Частота встречаемости генотипов бета-казеина у быков ярославской породы и улучшенных генотипов (60 голов) в племенных стадах Ярославской области. Обозначения генотипов бета-казеина у быков производителей: A1A1 – β -CNA1/ β -CNA1; A1A2 – β -CNA1/ β -CNA2; A2A2 – β -CNA2/ β -CNA2.

Быки-производители с желательным генотипом бета-казеина β -CNA2/ β -CNA2 по гипоаллергенности молока у ярославских чистопородных – Исток 324; у улучшенных генотипов – Адлер 4901; Графит 4482; Знак 4950; Бисер 79; Брил 257.

Представляет научный и практический интерес обследование поголовья коров и спермопродукции быков в разрезе пород, разводимых в Ярославской области. При этом необходимо проводить комплексное тестирование быков с учётом основных селекционных показателей.

На рис. 3 приведены данные по частоте встречаемости комплексных генотипов по каппа-казеину и бета-казеину у быков-производителей.

У ярославских чистопородных быков преобладали комплексные генотипы варианта CSN3AA/CSN2A1A1, у улучшенных генотипов – генотипы варианта CSN3AA/CSN2A1A2. Из всевозможных вариантов комплексных генотипов у быков-производителей, изучаемых пород, встречались по семь вариантов комплексных генотипов CSN3/CSN2. Предпочтительный вариант комплексных генотипов CSN3BB/CSN2A2A2 не встречался у обследованных линий быков. Доля быков с желательными аллелями В по каппа-казеину и А2 по бета-казеину составляет 23%. Быки-производители с желательными комплексными генотипами CSN3/CSN2 по сыропригодности и гипоаллергенности молока у ярославских чистопородных – Бирюзовый 783 (CSN3AB/CSN2A1A2); Браслет 301 (CSN3BB/CSN2A1A2); Валдай 558 (CSN3AB/CSN2A1A2); Гвардеец 397 (CSN3AB/CSN2A1A2); Дон 928 (CSN3AB/CSN2A1A2); Исток 324 (CSN3AB/CSN2A2A2); Афон 7057 (CSN3AB/CSN2A1A2); Ирис 5034 (CSN3AB/CSN2A1A2); Князь 7122 (CSN3AB/CSN2A1A2); Мартин 7985 (CSN3AB/CSN2A1A2); Мусс 6977 (CSN3AB/CSN2A1A2); у улучшенных генотипов – Зимний 577 (CSN3AB/CSN2A1A2); Адлер 4901 (CSN3AB/CSN2A2A2); Грек 256 (CSN3AB/CSN2A1A2).

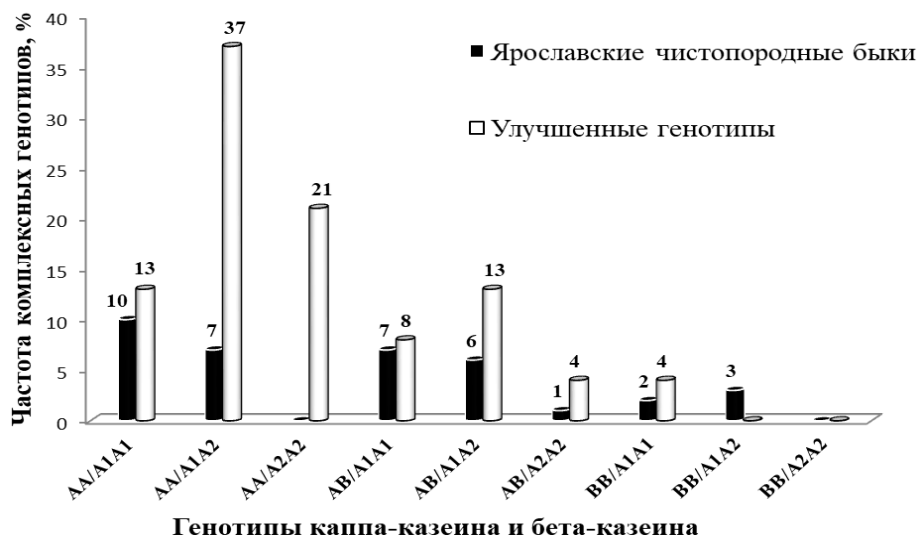


Рис. 3. Частота встречаемости комплексных генотипов каппа-казеина и бета-казеина у быков ярославской породы и улучшенных генотипов ($n=60$) в племенных стадах Ярославской области. Обозначения комплексных генотипов у быков производителей: AA/A1A1 – CSN3AA/CSN2A1A1; AA/A1A2 – CSN3AA/CSN2A1A2; AA/A2A2 – CSN3AA/CSN2A2A2; AB/A1A1 – CSN3AB/CSN2A1A1; AB/A1A2 – CSN3AB/CSN2A1A2; AB/A2A2 – CSN3AB/CSN2A2A2; BB/A1A1 – CSN3BB/CSN2A1A1; BB/A1A2 – CSN3BB/CSN2A1A2; BB/A2A2 – CSN3BB/CSN2A2A2.

С учётом того, что абсолютное большинство быков-производителей генотипированы по каппа-казеину и бета-казеину методом ДНК-тестирования и оценены по качеству потомства, были проанализированы их родительские индексы по белковомолочности во взаимосвязи с генотипами каппа-казеина и бета-казеина. Как видно из табл. 1, по родительскому индексу МДБ быков-производителей наблюдаются различия; в среднем по всем линиям этот показатель на уровне 3,28...3,51%.

Таблица 1. Родительские индексы быков по белковомолочности и их реализация в дочернем потомстве

Быки, линии	Каппа-казеин	Бета-казеин	РИБ по масс. доле белка, %	n	МДБ у дочерей, %	РИБ, %
Ярославские чистопородные быки						
Бант 4461 ЯЯ-6825	AA	A1A2	3,28	16	3,25±0,04	99,1
<i>Итого по линии Чародей ЯЯ-1544</i>			3,28	16	3,25±0,04	99,1
Беркут 1025 ЯЯ-6795	AA	A1A2	3,45	15	3,09±0,07	89,6
Гвардеец 397 ЯЯ-6812	AB	A1A2	3,37	15	3,20±0,06	95,0
Земляк 951 ЯЯ-6818	AA	A1A2	3,30	21	3,30±0,05	100,0
Маршал 1073 ЯЯ-6802	AA	A1A1	3,33	48	3,45±0,04	103,6
<i>Итого по линии Добрый ЯЯ-4627</i>			3,36±0,03	99	3,26±0,08	97,0
Варяг 1009 ЯЯ-6797	AA	A1A1	3,38	42	3,49±0,04	103,3
Дайкон 998 ЯЯ-6799	AA	A1A2	3,24	15	3,34±0,09	103,1
Мастер 736 ЯЯ-6793	AA	A1A1	3,39	51	3,46±0,04	102,1
<i>Итого по линии Вольный ЯЯ-4370</i>			3,34±0,05	108	3,43±0,05	102,7
Бутон 114	AB	A1A1	3,17	32	3,02±0,02	95,3
Валдай 558 ЯЯ-6811	AB	A1A2	3,37	30	3,29±0,03	97,6
Дон 928 ЯЯ-6820	AB	A1A2	3,56	27	3,59±0,05	100,8
Нейлон 1056 ЯЯ-6782	AB	A1A1	3,44	15	3,21±0,06	93,3
<i>Итого по линии Жилет ЯЯ-4574</i>			3,39±0,08	104	3,28±0,12	96,8
Браслет 301 ЯЯ-6803	BB	A1A2	3,51	15	3,43±0,03	97,7
<i>Итого по линии Март ЯЯ-2456</i>			3,51	15	3,43±0,03	97,7
Бирюзовый 783 ЯЯ-6807	AB	A1A2	3,38	15	3,25±0,05	96,2
Запад 297 ЯЯ-6804	AA	A1A1	3,35	15	3,41±0,02	101,8
<i>Итого по линии Мурат ЯЯ-4388</i>			3,37±0,02	30	3,33±0,04	98,8
Вожак 605 ЯЯ-6814	AA	A1A1	3,40	15	3,12±0,09	91,8
Исток 324 ЯЯ-6792	AB	A2A2	3,45	15	3,21±0,04	93,0
Локон 988 ЯЯ-6808	AA	A1A1	3,47	16	3,34±0,07	96,3
<i>Итого по линии Марс ЯЯ-4319</i>			3,44±0,02	46	3,22±0,06	93,6
<i>Итого ярославские чистопородные</i>			3,38±0,02*	418	3,31±0,03*	97,9
Улучшенные генотипы						
Бисер 79	AA	A2A2	3,32	19	3,21±0,03	96,7
Брил 257	AA	A2A2	3,30	46	3,35±0,02	101,5
Знак 4950 ЯЯ-6848	AA	A2A2	3,17	15	2,92±0,08	92,1
Наган 5022 ЯЯ-6851	AA	A1A2	3,31	16	3,29±0,06	99,4
<i>Итого по линии Монтик Чифтейн 95679</i>			3,28±0,04	96	3,19±0,12	97,3
Гермес 184 ЯМТ-6	AA	A1A2	3,31	84	3,12±0,02	94,3
Дубль 34 ЯЯ-6483	BB	A1A1	3,09	16	3,21±0,09	103,9
Зимний 577 ЯМТ-3	AB	A1A2	3,37	50	3,27±0,04	97,0
<i>Итого по линии Рефлекшн Соверинг 198998</i>			3,26±0,09	150	3,20±0,04	98,2
<i>Итого по улучшенным генотипам</i>			3,27±0,04	246	3,20±0,05	97,9

Примечания: * $P < 0,01$ по t -критерию при сравнении между быками ярославской породы по РИБ и улучшенными генотипами по МДБ; * $P < 0,01$ по t -критерию при сравнении по МДБ между дочерьми быков ярославской породы и улучшенными генотипами.

По быкам внутри линий видны значительные различия; в линиях: Добрый – от 3,30 до 3,45%; Вольный – от 3,24 до 3,39%; Жилет – от 3,17 до 3,56%; в линии Монтвик Чифтейн – от 3,17 до 3,32%; Рефлекшн Соверинг – от 3,09 до 3,37%; в линии Марса и Мурата показатели наиболее стабильные – 3,40...3,47%; 3,35...3,38% соответственно.

Реализация РИБ по МДБ достаточно высокая – от 89,6 до 103,9% по всем оцененным дочерям. В среднем у ярославских чистопородных быков РИБ по МДБ составил 3,38% (n=18), а содержание белка в молоке их дочерей – 3,31% (n=418), у улучшенных генотипов – 3,27% (n=7), содержание белка в молоке их дочерей – 3,31% (n=246).

Наиболее перспективны быки для повышения белковомолочности коров во взаимосвязи с комплексными генотипами каппа-казеина и бета-казеина, высоким РИБ по МДБ: Дон 928 ЯЯ-6820 линии Жилета ЯЯ-4574 (CSN3AB/CSN2A1A2) – РИБ по МДБ 3,56%; Браслет 301 линии Марта ЯЯ-2456 (CSN3BB/CSN2A1A2) – РИБ по МДБ 3,51%.

Заключение

В исследованной выборке быков-производителей в Ярославской области (n=60) ярославские чистопородные быки по частоте встречаемости предпочтительных генотипов по бета-казеину β -CNA1/ β -CNA2 и β -CNA2/ β -CNA2 существенно не отличаются от быков с улучшенными генотипами (n = 17 и 18, соответственно). По частоте встречаемости желательных комплексных генотипов по каппа-казеину и бета-казеину CSN3AB/CSN2A1A2; CSN3AB/CSN2A2A2; CSN3BB/CSN2A1A2 ярославские чистопородные быки превосходят улучшенных генотипов (n = 10 и 4, соответственно).

Ярославские чистопородные быки имеют хороший генетический потенциал по белковомолочности, консолидированный в процессе селекции, что способствовало высокой реализации РИБ по МДБ в дочернем потомстве (90...103%). Прослеживается ассоциация между комплексными генотипами каппа-казеина и бета-казеина у быков-производителей с показателями белковомолочности у дочерей, хотя не всегда прямолинейная.

Список литературы

1. Глинская Н.А., Сильченко Е.С., Николаева В.В., Приловская Е.И. Полиморфизм гена бета-казеина (CSN2) и анализ биохимического состояния крупного рогатого скота белорусской черно-пестрой породы // Вестник Полесского государственного университета. 2021. № 1. С. 72-77.
2. Горлов И.Ф., Сычева О.В., Кононова Л.В. Бета-казеин: известный, но не познанный. // Молочное и мясное скотоводство. 2016. № 6. С. 18-19.
3. Гуськова С.В. А2-молоко-продукт для детского питания // Информационный бюллетень Национального союза племенных организаций. 2017. № 1. С. 24-27.
4. Калашникова Л.А., Хабибрахманова Я.А., Павлова И.Ю., Ганченкова Т.Б. Рекомендации по геномной оценке крупного рогатого скота. Лесные поляны: изд. ВНИИплем, 2015. 34 с.
5. Ковалюк, Н.В., Сацук В.Ц., Мачульская Е.В. Возможности селекции крупного рогатого скота по локусам CSN2 и CSN3. // Молочное и мясное скотоводство. 2019. 6. С. 9-11.
6. Кондратьева Т.Н., Тимофеева М.А. Производство молока А2 – перспективное направление повышения рентабельности отрасли молочного скотоводства. // Современные тенденции в научном и кадровом обеспечении АПК: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Великий Новгород: Новгородский государственный университет, 2020. С. 246-251.
7. Корнев М.М., Фураева Н.С. Племенная работа в животноводстве Ярославской области. Ярославль: ОАО «Ярославское» по племенной работе, 2015/2023. 36 с.
8. Марзанов Н.С., Девришов Д.А., Марзанова С.Н., Гетоков О.О., Абылкасымов Д.А., Либет И.С. ДНК-диагностика популяций коров черно-пестрой породы по локусу бета-казеина. // Ветеринария. Зоотехния. Биотехнология. 2021. № 3. С. 78-84.

9. Михайлова Ю.А., Тамарова Р.В., Ярлыков Н.Г. Генетическое улучшение коров по белковомолочности и качеству продукции с использованием метода ДНК-диагностики: монография. Ярославль: изд. Ярославская ГСХА, 2019. 124 с.
10. Подречнева И.Ю., Щеголев О.П., Белокуров С.Г. Аллельный полиморфизм генов CSN3 и CSN2 у быков-производителей молочных пород. // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 5. С. 109-113.
11. Подречнева И.Ю., Щеголев П.О., Белокуров С.Г., Кофиади И.А. Сравнительная оценка костромской и ярославской пород крупного рогатого скота по гену бета-казеина. // 2020. Т. 15. № 9. С. 1278-1284.
12. Чаицкий А.А., Баранова Н.С. Оценка реализации биологического потенциала у крупного рогатого скота костромской породы с различными аллельными вариантами гена бета-казеина. // Вестник АПК Верхневолжья. 2021. № 2. С. 22-28.
13. Caroli A.M., Savino S., Bulgari O., Monti E. Detecting β -casein variation in bovine milk. // *Molecules*. 2016. Vol. 21. nr 2. P. 141.
14. Elliott R.B., Harris D.P., Hill J.P., Bibby N.J., Wasmuth H.E. Type I (insulindependent) diabetes mellitus and cow milk: casein variant consumption. // *Diabetologia*. 1999. Vol. 42. P. 292-296.
15. Farrell H.M.Jr., Jimenez-Florez R., Bleck G.T., Brown E.M., Butler J.E., Creamer L.K., Hicks C.L., Hollar C.M., Ng-Kwai-Hang K.F., Swaisgood H.E. Nomenclature of the proteins of cows' milk - sixth revision. // *J. Dairy Sci.* 2004. Vol. 87. P. 1641-1674.
16. Kamiński S., Cieslińska A., Kostyra A. Polymorphism of bovine beta-casein and its potential effect on human health. // *J. Appl. Genet.* 2007. Vol. 48. P. 189-198.

References (for publications in Russian)

1. Chaitskii A.A., Baranova N.S. [Evaluation of the realization of the biological potential in cattle of the Kostroma breed with different allelic variants of the beta-casein gene]. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* (Bulletin of the APK of the Upper Volga). 2021.2: 22-28.
2. Glinskaya N.A., Silchenko E.S., Nikolaeva V.V., Prilovskaya E.I. [Polymorphism of the beta-casein gene (CSN2) and analysis of the biochemical state of Belarusian Black-and-White cattle]. *Vestnik Polesskogo gosudarstvennogo universiteta* (Bulletin of the Polesky State University). 2021. 1: 72-77.
3. Gorlov I.F., Sycheva O.V., Kononova L.V. [Beta-casein: known, but not known]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* (Dairy and beef cattle breeding). 2016. 6: 18-19.
4. Guskova S.V. [A2-milk-a product for baby food]. *Informatsionnyi byulleten' Natsional'nogo soyuza plemennykh organizatsii* (Newsletter of the National Union of Breeding Organizations). 2017. 1: 24-27.
5. Kalashnikova L.A., Khabibrakhmanova Ya.A., Pavlova I.Yu., Ganchenkova T.B. *Rekomendatsii po genomnoy otsenke krupnogo rogatogo skota* (Recommendations for genomic evaluation of cattle). Lesnye polyany: VNIIPlem Publ., 2015. 34 p.
6. Kovalyuk, N.V., Satsuk V.Ts, Machulskaya E.V. [Possibilities of cattle breeding by loci CSN2 and CSN3]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* (Dairy and beef cattle breeding). 2019. 6: 9-11.
7. Kondratieva T.N., Timofeeva M.A. [A2 milk production is a promising direction for increasing the profitability of the dairy cattle industry]. *Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem: "Sovremennye tendentsii v nauchnom i kadrovom obespechenii APK"* (Proc. Sci. Pract. Conf.: Modern trends in scientific and personnel support of the agro-industrial complex). Veliky Novgorod: Novgorod State University Publ., 2020. P. 246-251.
8. Korenev M.M., Furaeva N.S. *Plemennaya rabota v zhivotnovodstve Yaroslavskoy oblasti* (Breeding work in animal husbandry of the Yaroslavl region). Yaroslavl: Yaroslavl breeding Publ., 2015/2023. 36 p.
9. Marzanov N.S., Devrishov D.A., Marzanova S.N., Getokov O.O., Abylkasymov D.A., Libet I.S. [DNA diagnostics of Black-and-White breed cow populations by beta-casein locus]. *Veterinariya. Zootekhniya. Biotekhnologiya* (Veterinary medicine. Zootechny. Biotechnology). 2021. 3: 78-84.
10. Merkuryeva E.K., Shangin-Berezovsky G.N. *Veterinariya. Genetika s osnovami biometrii* (Genetics with the basics of biometrics). Moscow: Kolos Publ., 1983. 424 p.
11. Mikhailova Yu.A., Tamarova R.V., Yarlykov N.G. *Geneticheskoe uluchshenie korov po belkovomolochnosti i kachestvu produktsii s ispol'zovaniem metoda DNK-diagnosticski* (Genetic improvement of cows in terms of protein content and product quality using the method of DNA-diagnostics). Yaroslavl: State Agricultural Academy Publ., 2019, 124 p.

12. Podrechneva I.Yu., Shchegolev O.P., Belokurov S.G. [Allelic polymorphism of CSN3 and CSN2 genes in dairy bulls]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal* (International Scientific Research Journal). 2020. 5: 109-113.
13. Podrechneva I.Yu., Shchegolev P.O., Belokurov S.G., Kofiadi I.A. [Comparative evaluation of Kostroma and Yaroslavl cattle breeds by beta-casein gene]. *Nauchnaya zhizn'* (Scientific life). 2020. 15(9): 1278-1284.
14. Chaitsky A.A., Baranova N.S. [Evaluation of the realization of biological potential in Kostroma cattle with various allelic variants of the beta-casein gene]. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* (Bulletin of the Agroindustrial Complex of the Upper Volga region). 2021. 2: 22-28.

UDC 577.21:636.2.082(470.316)

Monitoring beta-casein gene polymorphism (CSN2) in sire bulls in breeding herds of Yaroslavl oblast

Mikhailova Yu.A., Tamarova R.V.

*Yaroslavl State Agricultural Academy,
Yaroslavl, Yaroslavl region, Russian Federation*

ABSTRACT. The interest in studying the beta-casein locus is due to the fact that the products of some of its alleles cause serious deviations in the human body. Beta-casein (CSN2) is second in prevalence and content in cow's milk, second only to casein alpha-S1. Of the twelve genetic variants of β -casein, the greatest degraders of cow's milk are β -CNA1 and β -CNB. The main reason for unfavorable genetic shifts is the strict selection and widespread use of a small number of elite bulls, artificial insemination of a large array of cows, multiple ovulation and embryo transplantation (MOET). The entry of the mutant β -CNA1 allele into Russia is due to the purchase of breeding material (animals, semen, embryos). In order to assess the possibility of domestic breeding enterprises to conduct breeding to improve the cheese suitability and safety of milk, genotyping was monitored by the locus CSN2 (beta-casein) and CSN3 (kappa-casein) on a sample of bulls-producers of the Yaroslavl breed and improved genotypes ($n=60$). It was found that the frequency of occurrence of the desired variant A2A2 at the CSN2 locus (1%) in bulls of the Yaroslavl breed is significantly lower than in bulls of improved genotypes (25%). According to the frequency of occurrence of complex desirable genotypes CSN2 and CSN3, Yaroslavl purebred bulls (33%) prevail over bulls of improved genotypes (13%). It was concluded that domestic breeding enterprises need to increase the share of bulls with genotypes A2A2 (locus CSN2), AB and BB (locus CSN3) in order to increase competitiveness.

Keywords: beta-casein, kappa-casein, genotypes, frequency of occurrence, breeding bulls, implementation of the parent index, daughters, combinations of crosses

Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh (Productive Animal Biology), 2023, 2: 28-36.

Поступило в редакцию: 11.02.2023

Получено после доработки: 10.04.2023

Сведения об авторах:

Михайлова Юлия Александровна, к.с.-х.н., доц., тел. 8(915)991-57-29;
k1709yulia@yandex.ru;

Тамарова Раиса Васильевна, д.с.-х.н., проф., тел. 8(906)529-27-85