Научная статья
УДК 636.2.034:575.174.015.3:637.3.05
doi:10.35694/YARCX.2022.58.2.005

ВЛИЯНИЕ ГЕНОТИПОВ ГЕНА КАППА-КАЗЕИНА НА СЫРОПРИГОДНЫЕ СВОЙСТВА МОЛОКА КОРОВ

А. А. Чаицкий[1], А. Д. Лемякин[2], А. Н. Тяжченко[3], К. Д. Сабетова[4], П. О. Щеголев[5], С. Г. Белокуров[6], И. А. Кофиади[7], А. В. Смирнова[8]
[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Караваево, Россия
[8]Костромской фермерский кооператив, Шунга, Россия
Автор, ответственный за переписку: Алексей Александрович Чаицкий,
leha.chaittskiy@mail.ru, ORCID 0000-0002-5853-3809

Реферат. Целенаправленная селекционная работа с животными, основанная на современных методах молекулярной генетики, позволит не только увеличить объёмы производимого молока, но и значительно повысить его качество и технологические свойства. Одним из наиболее значимых генетических маркеров является ген каппа-казеина (CSN3), В-аллель которого ассоциирован с высоким содержанием белка в молоке, лучшими коагуляционными свойствами молока и, следовательно, увеличением выхода сыра. Целью исследования было изучить влияние генотипов гена каппа-казеина на сыропригодные свойства молока коров. В качестве источника генетического материала использовали кровь коров костромской и чёрно-пёстрой пород племенных хозяйств Костромской области. В результате установлено, что наибольшая частота встречаемости желательного генотипа $CSN3^{BB}$ была у коров костромской породы (0,844), при этом доля кровности 69% коров-носителей данного генотипа была ниже 50%. Среди особей чёрно-пёстрой породы встречаемость генотипа $CSN3^{BB}$ была сравнительно ниже (0,600) и 50% этих животных имели высокую долю кровности – выше 50%. Молоко животных с генотипом BB имеет оптимальный химический состав для производства сыра и обладает наилучшей способностью к образованию казеинового сгустка, при этом оно характеризуется меньшими затратами молока-сырья для производства 1 кг сыра – из 10 кг молока было получено 1,74 кг сыра от костромской породы и 1,52 кг – от чёрно-пёстрой. Органолептическая оценка сыров потенциальных потребителей показала, что лучшими качествами обладал сыр, приготовленный из молока костромской породы коров с генотипом $CSN3^{BB}$. Таким образом, результаты проведённых исследований свидетельствуют, что наиболее подходящим для сыроварения является молоко костромской породы крупного рогатого скота с генотипом BB по гену каппа-казеина (CSN3). Молоко чёрно-пёстрых коров, являющихся носителями генотипа BB, также соответствует требованиям, предъявляемым к сырью для производства сыра, однако уступает молоку костромской породы по таким показателям, как выход сыра и качество получаемой продукции.

Ключевые слова: *коровы, полиморфизм, генотипы, ген каппа-казеина, сыропригодность молока*

INFLUENCE OF GENOTYPES OF KAPPA-CASEIN GENE ON CHEESE PROPERTIES OF COW'S MILK

A. A. Chaitskiy[1], A. D. Lemyakin[2], A. N. Tyazhchenko[3], K. D. Sabetova[4], P. O. Schegolev[5], S. G. Belokurov[6], I. A. Ko adi[7], A. V. Smirnova[8]
[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Russia
[8]Kostroma Farmer's Cooperative, Shunga, Russia
Corresponding author: Aleksey A. Chaitskiy,
leha.chaittskiy@mail.ru, ORCID 0000-0002-5853-3809

Abstract. Purposeful selection work with animals based on modern methods of molecular genetics, will not only increase the volume of milk produced, but also signi cantly improve its quality and technological properties. One of the most signi cant genetic markers is the kappa-casein (CSN3) gene, the B-allele of which is associated with a high protein content in milk, better coagulation properties of milk and, consequently, an

increase in cheese yield. The goal of research was to study the effect of the kappa-casein gene genotypes on the cheese properties of cows' milk. The blood of cows of the Kostroma and Black-and-White breeds of bred livestock farms in the Kostroma region was used as a source of genetic material. As a result, it was found that the highest frequency of occurrence of the desired $CSN3^{BB}$ genotype was in cows of the Kostroma breed (0.844), while the proportion of blood system of 69% of the carrier cows of this genotype was below 50%. Among individuals of Black-and-White breed the occurrence of the $CSN3^{BB}$ genotype was comparatively lower (0.600) and 50% of these animals had a high proportion of blood system – above 50%. The milk of animals with the BB genotype has the optimal chemical composition for the production of cheese and has the best ability to form a casein clot, while it is characterized by lower raw milk costs for the production of 1 kg of cheese – 1.74 kg of cheese were obtained from 10 kg of milk from the Kostroma breed and 1.52 kg – from black-and-white. The organoleptic evaluation of the cheeses of potential consumers showed that the cheese made from the milk of the Kostroma breed of cows with the $CSN3^{BB}$ genotype had the best qualities. Thus, the results of the conducted studies indicate that the milk of the Kostroma breed of cattle with the BB genotype for the kappa-casein gene (CSN3) is the most suitable for cheese making. The milk of black-and-white cows, which are carriers of the BB genotype, also meets the requirements for raw materials for cheese production, but is inferior to the milk of the Kostroma breed in terms of such indicators as cheese yield and product quality.

Keywords: *cows, polymorphism, genotypes, kappa-casein gene, cheese suitability of milk*

Введение. В молочном скотоводстве одним из важных показателей, определяющих племенную ценность крупного рогатого скота, является качество производимого молока-сырья, его технологические свойства [1]. Опыт многих европейских стран демонстрирует, что широкое распространение голштинской породы коров в селекции способствовало уменьшению пригодности молока для сыроварения, в особенности его твёрдых сортов. В нашей стране отмечается недостаточная сыропригодность молока коров холмогорской, красной степной, чёрно-пёстрой и других пород отечественной селекции с высокой долей кровности по голштинской породе [2].

Большое распространение голштинской и чёрно-пёстрой пород крупного рогатого скота по миру обусловлено высокими показателями производства молока, которое преимущественно используется как питьевое. Вследствие чего данные породы в процессе длительной селекции, несмотря на высокие удои, имели низкое содержание в своём молоке белковой и жировой составляющей. Ощутимые изменения в селекции, направленной на увеличение белковомолочности и жирномолочности, произошли лишь в последние два десятилетия. Напротив, в некоторых странах Западной Европы, а именно Швейцарии, Австрии, Италии и Франции издавна сложилось так, что предпочтение отдавалось бурым породам – скоту симменатальской и швицкой селекции, который совершенствовался главным образом в направлении пригодности молока для варки сыра [3].

В нашей стране из бурых пород наиболее известна костромская. Генетический потенциал данной породы определяет высокую молочную продуктивность и превышает 6000 кг молока за лактацию, а от рекордисток получают 10–16 тыс. кг с высоким содержанием жира – 3,9–4,0% и белка – 3,49–3,64% [3].

Несмотря на уникальные генетические качества костромской породы, селекционно-племенная работа с ней в настоящее время сопряжена с рядом проблем, главная из которых – малая численность породы и сужение ареала распространения. Решение данной проблемы возможно посредством эффективного использования существующих генетических ресурсов с применением современных методов молекулярной генетики – маркерной селекции и ДНК-технологий [4]. Селекция животных по генетическим маркерам открывает большие перспективы перед сельским хозяйством, значительно ускоряя процесс отбора животных по желательным признакам. Начав развиваться в середине прошлого века, данное направление не теряет своей актуальности, в том числе и для отрасли молочного скотоводства [5]. Целенаправленная селекционная работа с крупным рогатым скотом, основанная на современных методах молекулярной генетики, позволит не только увеличить объёмы производимого молока, но и значительно повысить его качество и технологические свойства.

Одним из наиболее значимых генетических маркеров является ген каппа-казеина (CSN3, k-CN), B-аллель которого ассоциирован с высоким содержанием белка в молоке, лучшими коагуляционными свойствами молока и, следовательно, увеличенным выходом сыра. Определение аллельных вариантов гена каппа-казеина можно использовать для прогноза размера мицелл молока и его пригодности для производства сыров [6].

Изучение полиморфизма гена каппа-казеина и определение его желательных генотипов в отечественных породах крупного рогатого скота молочного направления, несмотря на более чем

20-летнюю историю, по-прежнему остаётся актуальным. Особенно актуальным является изучение данного гена у животных костромской породы, так как последнее исследование подобного рода в рамках породы учёные проводили почти 10 лет назад, что является существенным сроком в масштабах селекционного процесса в скотоводстве.

Цель исследования – изучить влияние генотипов гена каппа-казеина на технологические свойства молока коров, обуславливающие его сыропригодность.

Материал и методы исследований. При проведении исследования в качестве источника генетической информации животных использовали цельную кровь коров костромской и чёрно-пёстрой пород, разводимых в племенных хозяйствах Костромской области. Биоматериал у животных отбирали из хвостовой вены в вакуумные пробирки с антикоагулянтом ЭДТА К2 (этилендиаминуксусная кислота) с соблюдением правил асептики и антисептики. Всего отобраны биологические образцы у 137 коров. Для выделения ДНК из цельной крови использовали набор реагентов «Проба-НК» (ООО «НПО ДНК-технология», Россия).

Для решения задач исследования, связанных с генотипированием однонуклеотидного полиморфизма гена каппа-казеина (rs43703017), реализован метод, позволяющий определить полиморфизм генов на уровне аллелей. Полиморфизм гена каппа-казеина (три генотипа $CSN3^{AA}$, $CSN3^{AB}$, $CSN3^{BB}$) определяли методом полимеразной цепной реакции в реальном времени (ПЦР-РВ) с использованием амплификатора «DTprime» (ООО «НПО ДНК-технология», Россия) и технологии HRM-анализа (High Resolution Melting). В состав смеси для постановки ПЦР (из расчёта на 1 образец ДНК) входило 5 мкл образца ДНК, 20 мкл ПЦР-смеси, 10 мкл раствора полимеразы (0,5 мкл TAQ-AT полимеразы и 9,5 мкл ПЦР-буфера) и 1 капля минерального масла. В состав ПЦР-смеси входили ПЦР-буфер, дезоксинуклеозидтрифосфат (dNTP), интеркалирующий краситель, праймеры:

CSN3_A 5′-GATGGATAAATTAAATCTGT-3′,
CSN3_G 5′-GATGGATAAATTAAACCTGT-3′,
CSN3_for 5′-GCAAAATGAATAACAGCCAAG-3′,
CSN3_rev 5′-TCTGCAATTTTTACTCATTTTG-3′.

В качестве флуоресцентного ДНК-интеркалирующего красителя в составе ПЦР-смеси использовали EvaGreen® (Biotium, США).

Программа амплификации: денатурация – 1 цикл при 94°С 5,00 мин., отжиг – 35 циклов при 64°С 0,30 мин., элонгация – 5 циклов при 45°С 0,15 мин.; плавление – 100 циклов при 70–90°С 0,10 минут. Обязательное оптическое измерение на всех этапах амплификации.

Учёт и анализ результатов проводили с помощью ПО RealTime PCR с применением модуля анализа HRM. При этом учитывали данные равномерности нагрева термоблока амплификатора (т.е. к результатам кластеризации дополнительно применена опционная настройка температурной коррекции).

Результаты предварительных HRM-протоколов были верифицированы методом прямого секвенирования по Сэнгеру с применением пар праймеров, позволявших амплифицировать более длинные фрагменты целевых последовательностей, чем праймеры для HRM-исследований.

Материалом для исследования также являлись сведения племенного и зоотехнического учёта. Молочную продуктивность оценивали по данным контрольных доек. В условиях племенных хозяйств Костромской области у исследуемых животных проводили отбор проб молока в промаркированные чистые герметичные контейнеры с консервантом. Химический состав молока коров с различными по гену каппа-казеина генотипами определяли методом инфракрасной спектрометрии с помощью анализатора молока «Bentley DairySpec FT» (США) по методике, рекомендованной производителем. Сычужная проба выполнялась согласно ГОСТ 32901-2014 «Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа». Контрольная варка сыра сорта «Любительский свежий» проводилась на базе молокоперерабатывающего предприятия СПОЖК «Костромской фермерский кооператив» (с. Шунга) согласно технологическим условиям. По результатам варки сыра определялась масса полученного продукта, содержание влаги по ГОСТ 3626-73 и расход молока-сырья на 1 кг сыра, а также проводилась органолептическая оценка выработанного продукта в соответствии с ГОСТ 33630-2015.

Результаты исследования. С целью изучения влияния генотипов гена каппа-казеина на сыропригодные свойства молока коров было проведено генотипирование 137 образцов ДНК крупного рогатого скота костромской (n = 32) и чёрно-пёстрой (n = 105) пород. Результаты представлены в таблице 1.

Установлено, что высокая частота встречаемости желательного генотипа $CSN3^{BB}$ была у коров костромской породы – 0,844 против 0,600 у животных чёрно-пёстрой породы (табл. 1). При этом прослеживаются генетические различия между крупным рогатым скотом разных хозяйств в пределах как костромской, так и чёрно-пёстрой породы, что свидетельствует о значительной обособленности стад племенных хозяйств и различном подходе специалистов данных предприятий к селекционно-племенной работе. И если между стадами СПК «Расловское» и СПК «Яковлевское» имеются различия по частоте встречаемости генотипов CSN3 и их аллелей, которые не столь выражены,

Таблица 1 – Результаты генотипирования коров по гену каппа-казеина

Порода	Количество животных				Частота встречаемости				
	всего, гол.	по генотипам			генотипов			аллелей	
		АА	АВ	ВВ	АА	АВ	ВВ	А	В
Костромская, всего	32	2	3	27	0,063	0,094	0,844	0,109	0,891
в т.ч.: СПК «Гридино»	14	1	3	10	0,071	0,214	0,714	0,179	0,821
СПК «Колхоз» Родина»	18	1	0	17	0,056	0,000	0,944	0,056	0,944
Чёрно-пёстрая, всего	105	21	21	63	0,200	0,200	0,600	0,300	0,700
в т.ч.: СПК «Яковлевское»	57	12	10	35	0,211	0,175	0,614	0,298	0,702
СПК «Расловское»	48	9	11	28	0,188	0,229	0,583	0,302	0,698

то различия между животными СПК «Гридино» и СПК «Колхоз «Родина» довольно значительны, что отражает существенные генетические отличия между стадами этих двух племенных заводов, специализирующихся на разведении костромской породы. С генетической точки зрения коровы стада СПК «Колхоз «Родина» обладают наибольшим генетическим потенциалом к производству сыропригодного молока, так как у них наблюдалась наибольшая концентрация желательного генотипа *CSN3*^{BB} и аллеля *CSN3*^{B}.

Очевидно, что костромская порода крупного рогатого скота обладает высоким генетическим потенциалом для получения высококачественного молока, наиболее пригодного для производства сыра, в силу высокой частоты встречаемости аллеля *CSN3*^{B} (0,891). В то же время, среди протестированных животных чёрно-пёстрой породы частота аллеля *CSN3*^{B} также оказалась достаточно высока – на уровне 0,700.

Рассматривать генетический потенциал коров той или иной породы невозможно без учёта их кровности по улучшающей породе (табл. 2).

Большая часть протестированных коров костромской породы имеет кровность по улучшающей швицкой породе менее 50% (табл. 2). В то

Таблица 2 – Распределение коров по генотипам с учётом доли кровности по улучшающей породе

Порода	Доля кровности, %	Количество коров					
		генотип					
		АА		АВ		ВВ	
		гол.	частота встречаемости	гол.	частота встречаемости	гол.	частота встречаемости
Костромская	До 50	1	0,031	1	0,031	22	0,687
	50	–	–	1	0,031	3	0,093
	Более 50	1	0,031	1	0,031	2	0,063
Чёрно-пёстрая	До 50	1	0,009	–	–	–	–
	50	6	0,057	5	0,048	9	0,087
	Более 50	14	0,136	16	0,155	52	0,505

же время среди животных чёрно-пёстрой породы большая часть (79,6%) имела кровность более 50% по голштинской породе. При этом наивысшая частота встречаемости желательного генотипа *CSN3*^{BB} среди коров костромской породы оказалась у животных с кровностью ниже 50% (0,687), а среди чёрно-пёстрой – у коров с кровностью выше 50% (0,505). Таким образом, в рассматриваемых популяциях костромского скота у большей части коров аллель *CSN3*^{B} является результатом процессов внутрипородной селекции, в то время как в чёрно-пёструю породу данный аллель по большей части привнесён вместе с прилитием крови улучшающей голштинской породы.

Рассматривая генетические различия животных разных пород и отдельных хозяйств по гену каппа-казеина, нельзя не оценить количественные и качественные показатели молочной продуктивности животных, являющихся носителями разных генотипов.

В ходе исследования по бонитировочным данным была проанализирована разность по молочной продуктивности между коровами разных генотипов, а также динамика показателей с учётом возраста животных и степени кровности по улучшающей породе (табл. 3).

Таблица 3 – Качественные и количественные показатели продуктивности коров разных генотипов в разрезе лактаций

Порода	Генотип	№ лактации					
		1-я			3-я и старше		
		Показатель			Показатель		
		удой, кг	жир, %	белок, %	удой, кг	жир, %	белок, %
Костромская	АА	4141±1139	4,31±0,47	3,17±0,04	5651±221	4,25±0,45	3,24±0,06
	АВ	6094±168	4,35±0,31	3,30±0,21	6856±1201	4,63±0,13	3,32±0,06
	ВВ	5064±1184	4,13±0,29	3,26±0,12	6110±1037	4,20±0,36	3,22±0,09
Чёрно-пёстрая	АА	7186±1541	3,94±0,29	3,19±0,14	7668±1177	4,23±0,42	3,26±0,15
	АВ	6538±1311	4,07±0,43	3,24±0,13	8148±962	4,26±0,29	3,20±0,20
	ВВ	6994±1495	3,92±0,29	3,19±0,15	8611±1793	4,02±0,48	3,06±0,18

По данным таблицы 3 видно, что достоверных различий между группами исследованных животных выявлено не было, что может быть связано с ограниченностью выборки. Однако наблюдается тенденция к увеличению показателей у коров с генотипом *CSN3*^{BB}. Так, у животных костромской породы за первую лактацию разница в удое между генотипом ВВ и АА составила 923 кг, а за третью лактацию – 459 кг в пользу генотипа ВВ. У коров чёрно-пёстрой породы разница в этих показателях за первую лактацию была несущественной, а за третью она составила 943 кг. Самое большое количество молока было получено от коров чёрно-пёстрой породы, имеющим генотип ВВ, за третью лактацию – 8611 кг. Содержание массовой доли белка в молоке коров разных генотипов *CSN3* также отличалось. В молоке коров костромской породы с желательным генотипом ВВ за первую лактацию белка было на 0,09% больше, чем у группы с генотипом АА. В то же время среди животных чёрно-пёстрой породы у коров с генотипом АА за третью лактацию белка в молоке было на 0,2% больше, чем у животных с генотипом ВВ. По содержанию жира среди коров костромской и чёрно-пёстрой пород более всего выделялись животные с генотипом *CSN3*^{AB}.

Химический состав молока отражает его технологические свойства, в том числе пригодность для производства белковых продуктов, таких как творог и сыр. С точки зрения сыропригодности важнейшими показателями химического состава молока являются массовые доли сухого вещества, сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО), молочного жира, молочного белка и казеина.

С целью получения параметров, необходимых для расчёта выхода сыра и предварительной оценки сыропригодности молока, отобранного для контрольной варки сыра, нами проведён его химический анализ (табл. 4).

В результате анализа химического состава молока коров с разными генотипами гена каппа-казеина было обнаружено, что наибольший процент жира (7,31 и 7,44%) отмечали у коров генотипа АА костромской и чёрно-пёстрой пород

Таблица 4 – Химический состав молока коров разных пород в разрезе генотипов гена каппа-казеина

Порода	Генотип	Жир, %	Белок, %	Лактоза, %	СВ, %	СОМО, %	Казеин, %
Костромская	АА	7,31	3,42	4,75	16,58	9,27	2,32
	АВ	4,59	2,88	4,96	13,35	8,76	1,79
	ВВ	3,85	3,14	4,95	12,86	9,0	2,12
Чёрно-пёстрая	АА	7,44	3,12	4,94	16,59	9,16	2,03
	АВ	5,91	3,18	5,05	15,19	9,28	2,15
	ВВ	4,52	3,13	5,04	13,68	9,16	2,22

Примечание: СВ – сухое вещество, СОМО – сухой обезжиренный молочный остаток.

соответственно, молоко с наименьшей жирностью получено у коров костромской породы генотипа ВВ (3,85%). Наибольший процент белка определяли также в молоке коров костромской породы – носителей АА генотипа – 3,42%, при этом количество казеина в молоке этих животных также было наибольшим и составляло 2,32%. Примечательно, что наименьшее значение общего белка и казеина молока отмечали у животных костромской породы генотипа АВ.

Наибольшее содержание лактозы регистрировали в молоке чёрно-пёстрой породы коров. При этом максимальное значение (5,05%) было характерно для генотипа АВ, что справедливо и для костромской породы скота.

Наибольшее количество сухого вещества в молоке определяли у коров чёрно-пёстрой и костромской пород, относящихся к генотипу АА.

Установлено, что количество сухого обезжиренного молочного остатка у чёрно-пёстрой породы коров с генотипом АВ и костромской породы с генотипом АА было наибольшим.

По процентному содержанию казеина отличалось молоко от коров костромской породы с генотипом АА, при этом наименьшее значение этого показателя отмечалось у костромских коров с генотипом АВ.

Для определения сыропригодности молока, предназначенного для контрольной варки сыра, нами были рассчитаны соотношения различных качественных показателей молока, таких как массовая доля жира к массовой доле белка, массовая доля жира к массовой доле СОМО, массовая доля белка к массовой доле СОМО, предложенные Г. В. Овсянниковой (2017). Результаты расчётов приведены в таблице 5.

По соотношению жирномолочности к белковомолочности Г. В. Овсянниковой определён оптимальный диапазон значений – 1,08–1,24. Среди исследуемых образцов только молоко от коров костромской породы с генотипом ВВ соответствует данному критерию.

По соотношению массовой доли белка и СОМО указанным выше автором определено оптимальное соотношение в пределах 0,36–0,44. По этому критерию к сыропригодному молоку можно отнести молоко от коров костромской породы с генотипом АА.

Таблица 5 – Оценка сыропригодности молока по соотношению его компонентов

Порода	Генотип	Жир : белок	Белок : СОМО	Жир : СОМО	Казеин : белок
Костромская	АА	2,14	0,37	0,79	0,68
	АВ	1,59	0,33	0,52	0,62
	ВВ	1,23	0,35	0,43	0,68
Чёрно-пёстрая	АА	2,38	0,34	0,81	0,65
	АВ	1,86	0,34	0,64	0,68
	ВВ	1,44	0,34	0,49	0,71
Рекомендуемые значения*	х	1,24–1,08	0,44–0,36	0,45–0,40	0,83–0,60

Примечание: рекомендуемые значения показателей качества молока для сыроделия приведены по Г. В. Овсянниковой [7].

По соотношению массовой доли жира и СОМО автором определён диапазон 0,4–0,45. Данному критерию сыропригодности соответствует только молоко животных костромской породы с генотипом ВВ.

Кроме того, нами была рассчитана доля казеина в общей белковой фракции молока. Молоко коров чёрно-пёстрой породы с генотипом ВВ имело наибольшее содержание казеина, а наименьшее – костромские коровы с генотипом АВ.

Таким образом, по совокупности параметров химического состава можно предположить, что наиболее пригодным для производства сыра является молоко от костромских коров с генотипами АА и ВВ, а также от животных чёрно-пёстрой породы, являющихся носителями ВВ-генотипа гена каппа-казеина.

Однако не следует забывать о высокой изменчивости многих химических компонент молока в зависимости от условий кормления, содержания и доения коров. Поэтому важнейшим способом определения сыропригодности молока остаётся контрольная варка сыра.

Контрольная варка сыра, как правило, включает в себя комплекс мероприятий технологического и научно-исследовательского характера, направленных на всестороннее изучение способности тестируемого молока к образованию сырного сгустка, синерезису и созреванию сыра с заданными технологическими и органолептическими

свойствами. Обычно при проведении контрольной варки проводят сычужную пробу молока, часто совмещая её с процессом производства сыра.

При проведении сычужной пробы установлено, что скорость образования сырного сгустка молока крупного рогатого скота костромской и чёрно-пёстрой пород была равна в среднем 30 мин., при этом различий данного показателя по генотипам не наблюдалось.

Установлено, что по характеру сгустка молоко коров костромской породы – носителей генотипов АА и ВВ по локусу CSN3 в соответствии с ГОСТ 32901-2014 относилось к 1 классу, а коров с генотипом АВ – ко 2 классу, что свидетельствует о его пригодности к сыроварению.

Молоко коров чёрно-пёстрой породы также удовлетворяет технологическим требованиям для производства сыра. По характеру сгустка молоко коров, имеющих генотипы АА и АВ по гену каппа-казеина, соответствовало 2 классу, а носителей ВВ генотипа – 1 классу.

Таким образом, молоко крупного рогатого скота с генотипом ВВ по локусу гена каппа-казеина обладает наилучшими сыропригодными свойствами. При этом молоко животных костромской породы является наиболее подходящим для выработки сыра ввиду лучшего характера сгустка.

После формирования сырной массы она содержалась в формах для самопрессования в течение двух суток при температуре 18° 18С с периодическим переворачиванием (раз в 6–12 ч.) и удалением отделившейся сыворотки. На 1 и 2 сутки созревания было проведено взвешивание сыра (табл. 6).

По данным таблицы можно определить, какой степени зрелости достигли сыры через 48 ч. выдерживания (минимальный срок выдерживания для сыра «Любительский свежий»). Наименьшее количество отделившейся сыворотки по отношению к массе сыра было у образца из молока коров костромской и чёрно-пёстрой пород генотипа $CSN3^{BB}$, что свидетельствует об их большей готовности, так как основная фаза отделения сыворотки проходила в первые 24 часа созревания. Наибольший процент отделившейся сыворотки наблюдался у сыра из молока крупного рогатого скота чёрно-пёстрой породы, имеющего генотип $CSN3^{AA}$, что говорит о более активном отделении сыворотки, и, следовательно, о меньшей готовности этого сыра по сравнению с остальными. Примечательно, что среди сыров из молока $CSN3^{AB}$ наименьшее отделение сыворотки отмечается в молоке костромской породы.

Таблица 6 – Результаты взвешивания сыров от коров различных пород и генотипов по CSN3

Порода	Генотип	Масса сыра, г		% выделившейся сыворотки к массе сыра после 48 ч. выдерживания
		через 24 ч.	через 48 ч.	
Костромская	АА	2625	2379	9,37
	АВ	2000	1804	9,80
	ВВ	2016	1836	8,93
Чёрно-пёстрая	АА	1386	1217	12,19
	АВ	1544	1392	9,84
	ВВ	1087	989	9,02

Таким образом, генотип $CSN3^{BB}$ связан с более быстрым отделением сыворотки, и, очевидно, способствует ускоренному созреванию сыра по сравнению другими генотипами. При этом примечательно, что сыры из молока животных костромской породы созревают быстрее, чем сыры, изготовленные из молока коров чёрно-пёстрой породы.

Так как сыры из молока коров разных генотипов и разных пород различались по параметрам консистенции и влажности, при этом были выработаны из молока, существенно различающегося по своему химическому составу, нами было проведено исследование всех образцов сыра на содержание влаги по ГОСТ 3626-73 «Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества». Основываясь на результатах данного анализа, а также с учётом приведённых выше сведений о химическом составе молока, использовавшегося для варки сыра, нами был определён расход молока на 1 кг сыра и выход сыра на 10 кг молока (табл. 7). Следует отметить, что в ходе расчёта масса сыра была пересчитана на содержание влаги 60% (предельно допустимое содержание влаги в сыре «Любительский свежий» согласно ГОСТ 32263-2013 «Сыры мягкие. Технические условия»).

Вследствие расчёта расхода молока на 1 кг сыра было установлено, что для приготовления сыра из молока коров костромской породы, име-

Таблица 7 – Расчёт выхода сыра из молока коров разных пород и генотипов по гену CSN3

Показатель		Порода					
		костромская			чёрно-пёстрая		
		генотип			генотип		
		AA	AB	BB	AA	AB	BB
Массовая доля жира в молоке, %		7,31	4,59	3,85	7,44	5,91	4,52
Затрачено молока на варку, кг	фактически	10,32	11,475	11,115	6,615	7,74	6,5
	базисная жирность	22,188	15,491	12,586	14,475	13,454	8,641
Содержание влаги в сыре, %		53,05	56,29	55,34	55,19	50,56	49,71
Получено сыра, кг	фактически	2,379	1,804	1,836	1,217	1,392	0,989
	60% влажность	2,969	2,132	2,186	1,507	1,832	1,312
Расход молока на 1 кг сыра, кг		7,47	7,27	5,76	9,61	7,34	6,59
Выход сыра с 10 кг молока, кг		1,34	1,38	1,74	1,04	1,36	1,52

ющих генотип *CSN3*^{BB}, было израсходовано наименьшее количество молока базисной жирности – 5,76 кг, наибольшее количество молока на 1 кг готового сыра потребовалось от коров чёрно-пёстрой породы – носителей генотипа *CSN3*^{AA}. При этом прослеживается чёткая тенденция к уменьшению расхода сырья на единицу продукции в ряду генотипов *CSN3*^{AA} – *CSN3*^{AB} – *CSN3*^{BB}. Кроме того, при сравнении разных пород выявлено, что наименьший расход сырья при производстве сыра отмечается при использовании молока коров костромской породы, а наибольший расход – молока коров чёрно-пёстрой породы.

Таким образом, контрольная варка сыра из молока коров разных пород и генотипов по локусу гена каппа-казеина продемонстрировала, что наибольший выход сыра был из молока коров костромской породы, когда из 10 кг молока было получено 1,74 кг сыра. Меньше сыра было получено из молока чёрно-пёстрых коров, где на производство 1,04 кг сыра потребовалось 10 кг молока. При этом, как в костромской, так и в чёрно-пёстрой породах, генотип коров по CSN3 оказывает существенное влияние на выход сыра: молоко животных – носителей генотипа *CSN3*^{BB} имело больший выход сыра, нежели молоко коров с генотипами *CSN3*^{AA} и *CSN3*^{AB}.

В качестве заключительного тестирования среди сотрудников и студентов ФГБОУ ВО Костромская ГСХА была проведена органолептическая оценка сыров, выработанных в ходе контрольной варки. Оценка проводилась методом слепого тестирования с занесением характеристик и последующей балльной оценкой. Полученные результаты обобщены в таблице 8.

В результате экспертной оценки органолептических показателей сыра установлено, что по вкусовым качествам наилучшим являлся образец сыра, который был получен из молока животных костромской породы генотипа CSN^{BB}, он набрал 16,13±3,16 баллов из 20 возможных (табл. 8). Второе место по вкусу занял сыр, приготовленный из молока коров чёрно-пёстрой породы генотипов AA и BB по гену каппа-казеина. На третьем месте ока-

Таблица 8 – Органолептические показатели сыра, изготовленного из молока коров разных генотипов по гену каппа-казеина

Показатель	Порода					
	костромская			чёрно-пёстрая		
	генотип			генотип		
	AA	AB	BB	AA	AB	BB
Вкус	14,80±3,32	14,40±3,29	16,13±3,16	15,20±3,32	14,53±4,10	15,13±3,27
Консистенция	7,73±1,03	7,47±1,68	7,87±1,13	7,80±1,61	7,73±1,62	7,80±1,42
Цвет	4,93±0,26	4,87±0,35	4,93±0,26	4,80±0,56	4,87±0,35	4,73±0,80
Рисунок	3,33±1,63	3,40±1,24	3,53±1,64	3,27±1,71	3,13±1,81	3,40±1,68
Внешний вид	4,53±0,83	4,33±1,05	4,60±0,91	4,27±1,03	4,53±0,83	4,40±0,74
Итого	35,33±4,17	34,47±5,15	37,07±4,99	35,33±6,26	34,80±6,85	35,47±4,81

зались пробы сыра из молока коров костромской породы генотипов АА и АВ.

Достоверных различий по консистенции, цвету, рисунку и внешнему виду сыра не было обнаружено, однако определяли тенденцию к наилучшим показателям у сыров из молока коров костромской породы генотипа ВВ.

По количеству итоговых баллов при анализе результатов оценки органолептических показателей выработанного продукта лидировал сыр, изготовленный из молока костромской породы коров, имеющих генотип $CSN3^{BB}$.

Руководствуясь вышесказанным, следует, что, несмотря на то, что достоверной разницы между оценками различных сыров обнаружено не было, имеющаяся тенденция говорит о том, что наибольшей привлекательностью отличаются сыры от коров костромской породы. Установлено, что генотип коров по CSN3 также оказывает существенное влияние на органолептические качества сыра, желательным при этом является генотип $CSN3^{BB}$.

Выводы. Таким образом, в результате генотипирования по локусу гена каппа-казеина коров СПК «Колхоз «Родина», СПК «Гридино», СПК «Яковлевское» и СПК «Расловское» обнаружено, что наибольшая частота встречаемости желательного генотипа $CSN3^{BB}$ была у коров костромской породы (0,844), наименьшая – в чёрно-пёстрой породе (0,600). При этом наивысшая частота встречаемости желательного генотипа $CSN3^{BB}$ наблюдалась среди коров костромской породы с кровностью ниже 50% по улучшающей породе (0,687), а среди чёрно-пёстрой – у коров с кровностью выше 50% (0,505).

Крупный рогатый скот костромской породы имеет больший генетический потенциал для получения высококачественного молока, наиболее пригодного для производства сыра в силу высокой частоты встречаемости аллеля $CSN3^{B}$ (0,891).

Исследование химического состава и соотношения компонентов молока, отобранного для контрольной варки сыра, показало, что молоко животных костромской породы, имеющих генотипы АА и ВВ, а также чёрно-пёстрой породы с генотипом ВВ имеет оптимальный химический состав для производства сыра.

Согласно сычужной пробе наилучшей способностью к образованию казеинового сгустка, необходимого в сыроделии качества, обладает молоко животных костромской породы крупного рогатого скота с генотипами АА и ВВ и чёрно-пёстрой породы с генотипом ВВ.

Проведённые расчёты расхода сырья на единицу продукции и выхода сыра с определённого объёма молока с учётом содержания влаги в выработанных сырах и массовой доли жира в молоке, использованном для варки, показали, что меньше всего сырья для производства 1 кг сыра требовалось при использовании молока коров костромской и чёрно-пёстрой пород с ВВ-генотипом. Выход готового сыра из расчёта на 10 кг молока этих двух групп составил 1,74 и 1,52 кг соответственно.

Органолептическая оценка сыров, полученных в результате контрольной варки, по оценке потенциальных потребителей показала, что лучшими качествами обладал сыр, приготовленный из молока костромской породы коров с генотипом ВВ гена каппа-казеина.

Результаты комплекса исследований свидетельствуют о том, что наиболее пригодным для сыроварения является молоко коров костромской породы, являющихся носителями ВВ-генотипа гена каппа-казеина. Качественный состав молока чёрно-пёстрой породы крупного рогатого скота, имеющих $CSN3^{BB}$ генотип, также соответствует требованиям, которые предъявляются к сырью для приготовления сыра, но при этом их молоко уступает по таким показателям, как выход сыра и качество получаемой продукции.

Список источников

1. Чаицкий, А. А. Оценка уровня реализации биологического потенциала у крупного рогатого скота костромской породы с различными аллельными вариантами гена каппа-казеина / А. А. Чаицкий, Н. С. Баранова. – Текст : непосредственный // Вестник АПК Верхневолжья. – 2021. – № 4 (56). – С. 33–37. – DOI 10.35694/YARCX.2021.54.2.004.

2. Иванов, В. А. Генотипы пород крупного рогатого скота и качество молока / В. А. Иванов, Н. С. Марзанов, Л. И. Елисеева [и др.]. – Текст : непосредственный // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2017. – № 3. – С. 48– 65. – ISSN 1996-6733.

3. Сулимова, Г. Е. Уникальность костромской породы крупного рогатого скота с позиции молекулярной генетики / Г. Е. Сулимова, И. В. Лазебная, А. В. Перчун [и др.]. – Текст : непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 9. – С. 52–54. – ISSN 0235-2451.

4. Харламов, А. В. Влияние генов каппа-казеина и лактоглобулина на молочную продуктивность коров и белковый состав молока (обзор) / А. В. Харламов, В. А. Панин, В. И. Косилов. – Текст : непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 1 (81). – С. 193–197. – ISSN 2073-0853.

5. Гатилова, Е. В. Встречаемость генотипов каппа-казеина и их влияние на молочную продуктивность коров разных пород. / Е. В. Гатилова, Л. В. Ефимова, О. В. Иванова. – Текст : непосредственный // Вестник АПК Ставрополья. – 2020. – № 4 (40). – С. 42–47. – DOI 10.31279/2222-9345-2020-9-40-42-47.

6. Глазко, В. И. Гены-кандидаты контроля характеристик молочной продуктивности крупного рогатого скота / В. И. Глазко, И. Н. Андрейченко, С. Н. Ковальчук [и др.]. – Текст : непосредственный // Российская сельскохозяйственная наука. – 2016. – № 5. – С. 45–50. – ISSN 2500-2627.

References

1. Chaitskij, A. A. Ocenka urovnja realizacii biologicheskogo potenciala u krupnogo rogatogo skota kostromskoj porody s razlichnymi allel'nymi variantami gena kappa-kazeina / A. A. Chaitskij, N. S. Baranova. – Tekst : neposredstvennyj // Vestnik APK Verhnevolzh'ja. – 2021. – № 4 (56). – S. 33–37. – DOI 10.35694/YARCX.2021.54.2.004.

2. Ivanov, V. A. Genotipy porod krupnogo rogatogo skota i kachestvo moloka / V. A. Ivanov, N. S. Marzanov, L. I. Eliseeva [i dr.]. – Tekst : neposredstvennyj // Problemy biologii produktivnyh zhivotnyh. – 2017. – № 3. – S. 48– 65. – ISSN 1996-6733.

3. Sulimova, G. E. Unikal'nost' kostromskoj porody krupnogo rogatogo skota s pozicii molekuljarnoj genetiki / G. E. Sulimova, I. V. Lazebnaya, A. V. Perchun [i dr.]. – Tekst : neposredstvennyj // Dostizhenija nauki i tehniki APK. – 2011. – № 9. – S. 52–54. – ISSN 0235-2451.

4. Kharlamov, A. V. Vlijanie genov kappa-kazeina i laktoglobulina na molochnuju produktivnost' korov i belkovyj sostav moloka (obzor) / A. V. Kharlamov, V. A. Panin, V. I. Kosilov. – Tekst : neposredstvennyj // Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – № 1 (81). – S. 193–197. – ISSN 2073-0853.

5. Gatilova, E. V. Vstrechaemost' genotipov kappa-kazeina i ih vlijanie na molochnuju produktivnost' korov raznyh porod. / E. V. Gatilova, L. V. Efimova, O. V. Ivanova. – Tekst : neposredstvennyj // Vestnik APK Stavropol'ja. – 2020. – № 4 (40). – S. 42–47. – DOI 10.31279/2222-9345-2020-9-40-42-47.

6. Glazko, V. I. Geny-kandidaty kontrolja harakteristik molochnoj produktivnosti krupnogo rogatogo skota / V. I. Glazko, I. N. Andrejchenko, S. N. Koval'chuk [i dr.]. – Tekst : neposredstvennyj // Rossijskaja sel'skohozjajstvennaja nauka. – 2016. – № 5. – S. 45–50. – ISSN 2500-2627.

Сведения об авторах

Алексей Александрович Чаицкий – аспирант факультета ветеринарной медицины и зоотехнии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 3284-3654.

Александр Дмитриевич Лемякин – магистрант факультета ветеринарной медицины и зоотехнии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», whichspecial@gmai.com, ORCID 0000-0002-7737-6351.

Александр Николаевич Тяжченко – магистрант факультета ветеринарной медицины и зоотехнии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», tyazhchenko2024@mail.ru, ORCID 0000-0002-6414-7269.

Ксения Дмитриевна Сабетова – кандидат ветеринарных наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией генетики и ДНК технологий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 6120-9223, kseniyasabetova@mail.ru, ORCID 0000-0003-3282-4779.

Павел Олегович Щеголев – кандидат сельскохозяйственных наук, селекционер-зоотехник регионального информационно-селекционного центра, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 4842-8345, bigboy25@mail.ru, ORCID 0000-0003-3552-8457.

Сергей Гаврилович Белокуров – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры частной зоотехнии, разведения и генетики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 5803-8372, rammfak@yandex.ru.

Илья Андреевич Кофиади – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории генетики и ДНК технологий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 5730-0925, kofiadi@mail.ru, ORCID 0000-0001-9280-8282.

Анна Владимировна Смирнова – председатель, Сельскохозяйственный потребительский животноводческий кооператив «Костромской фермерский кооператив», nekolhozshop@mail.ru.

Information about the authors

Aleksey A. Chaitskiy – postgraduate student of the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 3284-3654.

Aleksandr D. Lemyakin – master student of the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", whichspecial@gmai.com, ORCID 0000-0002-7737-6351.

Aleksandr N. Tyazhchenko – master student of the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", tyazhchenko2024@mail.ru, ORCID 0000-0002-6414-7269.

Kseniya D. Sabetova – Candidate of Veterinary Sciences, Head of the Research Laboratory of Genetics and DNA Technologies, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 6120-9223, kseniyasabetova@mail.ru, ORCID 0000-0003-3282-4779.

Pavel O. Shchegolev – Candidate of Agricultural Sciences, breeder-livestock specialist of the regional information and selection center, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 4842-8345, bigboy25@mail.ru, ORCID 0000-0003-3552-8457.

Sergey G. Belokurov – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Private Zootechnics, Breeding and Genetics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 5803-8372, rammfak@yandex.ru.

Ilya A. Kofiadi – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 5730-0925, kofiadi@mail.ru, ORCID 0000-0001-9280-8282.

Anna V. Smirnova – Chairman, Agricultural Consumer Livestock Cooperative "Kostroma farmers' cooperative", nekolhozshop@mail.ru.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ ФГБОУ ВО ЯРОСЛАВСКАЯ ГСХА В 2021 ГОДУ ВЫШЛА МОНОГРАФИЯ

ВОРОНИН А.Н., ТРУФАНОВ А.М., ЩУКИН С.В.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАГОТОВКИ КОРМОВ

В монографии обобщён опыт научно-исследовательских и учебных учреждений по совершенствованию технологий заготовки кормов. Особое внимание уделяется вопросам совершенствования технологических операций по возделыванию кормовых культур с использованием инновационных технологических решений.

Издание предназначено для руководителей хозяйств и фермеров, специалистов сельского хозяйства, научных сотрудников, специализирующихся в области кормопроизводства, аспирантов и студентов сельскохозяйственных вузов.

УДК 636.085:631.17; ББК 42.2; ISBN 978-5-98914-239-2; 228 СТР.

ПО ВОПРОСАМ ПРИОБРЕТЕНИЯ ОБРАЩАТЬСЯ ПО АДРЕСУ:

150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58, ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА

e-mail: e.bogoslovskaya@yarcx.ru