

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.41.8>

**ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ СРЕДЫ И ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНА DGAT1 НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЗНАКОВ
МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ И ПРОФИЛЬ ЖИРНЫХ КИСЛОТ МОЛОКА
ГОЛШТИНИЗИРОВАННЫХ ЧЕРНО-ПЕСТРЫХ КОРОВ**

Научная статья

Зарипов О.Г.^{1,*}, Отраднов П.И.², Лашнева И.А.³, Сермягин А.А.⁴

¹ ORCID : 0000-0001-7493-4410;

² ORCID : 0000-0002-1153-5815;

⁴ ORCID : 0000-0002-1799-6014;

^{1, 2, 3, 4} Федеральный исследовательский центр животноводства имени Л. К. Эрнста, Подольск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (zarog[at]mail.ru)

Аннотация

В статье представлены результаты оценки влияния средовых и генетических факторов, в т.ч. аллельного полиморфизма гена DGAT1 (диацилглицерин-О-ацилтрансфераза) на показатели продуктивности и профиль жирных кислот молочного жира у голштинизированных черно-пестрых коров. Всего было проанализировано поголовье коров объемом 310 голов из опытного хозяйства. Информация о составе молока и продуктивности была представлена записями о ежемесячных контрольных дойках, проводившихся на протяжении двух лет (общее количество записей $n > 10000$). Отклонений по распределению частот генотипов от закона Харди-Вайнберга не выявлено. У SNP rs109234250 и rs109326954, локализованных в гене DGAT1, преобладал аллель К (0,6). В жирнокислотном составе молочного жира преобладали насыщенные среднецепочечные жирные кислоты. Наследуемость и генетические корреляции исследуемых признаков соответствуют путям образования жирных кислот в организме животного. Наибольшее оценочное значение фиксированного влияния продолжительности лактации (DIM) было выявлено для признаков «содержание жира» и «содержание насыщенных среднецепочечных жирных кислот». Оценка фактора сезона контрольной дойки продемонстрировала максимальное положительное влияние в зимний период с увеличением оценки каждой последующей лактации. Для длинноцепочечных и мононенасыщенных жирных кислот максимальные оценки влияния сезона показаны для весеннего периода и рост до третьей лактации. Полиненасыщенные и транс-изомеры жирных кислот показали отличительные результаты, получившие наименьшие коэффициенты регрессии и максимальные оценки влияния в первую лактацию со снижением в каждой последующей. Максимальное влияние на жирнокислотный состав молочного жира было выявлено для аллеля А гена DGAT1 с преобладанием генотипа АА.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, диацилглицерин-О-ацилтрансфераза, жирные кислоты, аллельный полиморфизм.

**INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS AND DGAT1 GENE POLYMORPHISM ON VARIABILITY OF
MILK PRODUCTIVITY TRAITS AND FATTY ACID PROFILE OF MILK OF HOLSTEIN BLACK-BREED COWS**

Research article

Zaripov O.G.^{1,*}, Otradnov P.I.², Lashneva I.A.³, Sermyagin A.A.⁴

¹ ORCID : 0000-0001-7493-4410;

² ORCID : 0000-0002-1153-5815;

⁴ ORCID : 0000-0002-1799-6014;

^{1, 2, 3, 4} Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Podolsk, Russian Federation

* Corresponding author (zarog[at]mail.ru)

Abstract

The article presents the results of evaluation of the influence of environmental and genetic factors, including allelic polymorphism of DGAT1 gene (diacylglycerol-O-acyltransferase) on performance and milk fatty acids profile in Holsteinised black-breed cows. A total of 310 cows from the experimental farm were analysed. Information on milk composition and productivity was provided by records of monthly control milkings conducted over two years (total number of records $n > 10000$). No deviations in genotype frequency distribution from the Hardy-Weinberg law were detected. SNPs rs109234250 and rs109326954 localized in the DGAT1 gene had predominant K allele (0.6). The fatty acid composition of milk fat was dominated by saturated medium-chain fatty acids. Heritability and genetic correlations of the studied traits correspond to the ways of fatty acids' formation in the animal organism. The highest estimated value of the fixed effect of duration of lactation (DIM) was found for the traits "fat content" and "saturated medium-chain fatty acids content". Estimation of control milking season factor showed maximum positive influence in winter period with increasing estimation of each subsequent lactation. For long-chain and monounsaturated fatty acids, maximum estimates of the effect of season were shown for the spring period and growth up to the third lactation. Polyunsaturated and trans isomers of fatty acids showed distinctive results with the lowest regression coefficients and maximum effect estimates in the first lactation with a decrease in each subsequent lactation. The maximum effect on fatty acid composition of milk fat was identified for allele A of DGAT1 gene with predominance of AA genotype.

Keywords: cattle, diacylglycerol-O-acyltransferase, fatty acids, allelic polymorphism.

Введение

По причине особого влияния на потребительские качества получаемой жиромасляной продукции профилю жирных кислот молочного жира придается пристальное внимание. За последние десятилетия мнения о вреде или пользе молочного жира менялись на диаметрально противоположные. Это связано с тем, что молочный жир представлен в основном насыщенными жирными кислотами (до 65%), что зачастую ассоциируют с риском возникновения сердечно-сосудистых заболеваний, но в то же время, ряд исследователей сообщает о полезных биологических свойствах олеиновой и стеариновой жирных кислот, что способствуют регуляции уровня липидов в крови. И в дополнение молочный жир содержит такие жирные кислоты как линолевая, альфа-линолевая и конъюгированная линолевая (CLA), полезные с точки зрения питания [1], [2], [3], [4]. Кроме непосредственного влияния молочного жира на здоровье человека при его употреблении, интерес к профилю жирных кислот вызывает его влияние на технологические свойства продуктов переработки молочного жира. Так, увеличение ненасыщенных длинноцепочечных жирных кислот, в противовес короткоцепочечным, увеличивает мягкость и текучесть сливочного масла при низких температурах, но может отрицательно сказаться на вкусовых качествах, по причине усиленного окисления продукта, что также влияет на максимальные сроки хранения [5].

Состав и содержание жирных кислот молока зависит от путей их синтеза. Условно можно выделить несколько путей образования: непосредственно из рациона, синтез в молочной железе, биогидрирование (бактериальная деградация в рубце) и высвобождение из жировых запасов [6], [7]. При этом каждому типу жирной кислоты соответствует свой путь синтеза, так насыщенные коротко- и среднецепочечные синтезируются преимущественно *de novo* в молочной железе, тогда как ненасыщенные и длинноцепочечные жирные кислоты поступают из корма [8]. Регуляция указанных процессов может быть связана со множеством факторов влияющих на них, таких как кормление, порода, номер и стадия лактации. Кормление животного отражается на профиле жирных кислот посредством влияния на регуляцию экспрессии липогенных генов и снижения синтеза *de novo* и увеличению содержания длинноцепочечных жирных кислот, при повышении содержания полиненасыщенных жирных кислот в кормах. Данные колебания в профиле молочного жира проявляются при смене сезона, т.к. являются отражением смены рациона животных, когда зимой преобладают концентрированные корма и силос, а летом свежая трава, богатая ненасыщенными жирными кислотами [9]. С учетом того, что основная доля жирных кислот синтезируется самим животным, то также стоит брать в расчет и такой фактор как генотип животного, а в частности, полиморфизмы генов регулирующие липидный обмен. Фермент диацилглицерин-О-ацилтрансфераза, кодируемый геном DGAT1 является одним из основных маркеров жирномолочности, т.к. катализирует заключительную стадию биосинтеза триглицеридов. Ассоциации данного гена с содержанием молочного жира и жирных кислот показаны рядом авторов в GWAS – исследованиях, как у молочных пород, так и у мясных [10], [11], [12]. Таким образом, целью нашего исследования являлась оценка влияния средовых и генетических факторов на изменчивость продуктивности, а также содержание и состав профиля жирных кислот молочного жира у голштинизированных черно-пестрых коров.

Материалы и методы исследования

Образцы ушных выщипов (n=310) для генотипирования и пробы молока были получены от животных голштинизированной черно-пестрой породы (опытное хозяйство ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им.Л.К.Эрнста, Краснодарский край). Геномная ДНК выделялась с использованием набора «ДНК-Экстран-2» производства НПО «СИНТОЛ» из выщипов ушных раковин согласно инструкции производителя.

Реакцию амплификации проводили методикой ПЦР в «реальном времени», разработанной Ковальчук С.Н. 2017 г. на приборе Bio-Rad CFX96 в оптимизированных условиях [13].

В исследовании учитывались следующие показатели: суточный удой (кг), массовая доля жира/белка в молоке (%), содержание казеинов (%), жирнокислотный состав молока (г/100г): C14, C16, C18, C18.1, LCFA, MCFA, MUFA, PUFA, SFA, SCFA, TFA. Данные о фракционном составе молока получали посредством индивидуального отбора проб молока во время проведения ежемесячных контрольных доений – 3 раза в сутки (утро-день-вечер) и последующего анализа в лаборатории селекционного контроля качества молока ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста на автоматическом анализаторе CombiFoss 7 DC («Foss», Дания) в период с июня 2020 по июль 2022 гг. В исследовательскую базу вошли 10243 наблюдения за период проведения исследования.

Описательные статистические параметры (среднее арифметическое, ошибка, стандартное отклонение) вычислялись при помощи пакета «Анализ данных» в среде MS Excel 2013. Степень изменчивости признаков оценивали по коэффициенту вариации (C_v). Для расчета наследуемости (h^2) использовали отношение генетической вариансы к сумме генетической и остаточной варианс. Выявленные различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Оценка влияния генетических маркеров и средовых факторов на продуктивные качества и жирнокислотный состав молока производилась при помощи математической модели смешанного типа, составленной в рамках методологии BLUP Animal Model. Расчёты осуществлялись в программах семейства BLUPF90 [14]. Модель оценки имела следующий вид:

$$y_{ijklm} = \mu + L_i + \text{Season}_k + G_l + \beta \text{ DIM}_j + \text{animal}_m + e_{ijklm}, \quad (1)$$

где y_{ijklm} – оцениваемый показатель продуктивности или жирнокислотного состава молока; μ – популяционная константа; L_i – фиксированный эффект i -й лактации; β – коэффициент линейной регрессии; DIM_j – количество дойных дней; Season_k – сезон лактации, в который был произведен отбор образца молока (Зима-весна-лето-осень); G_l – фиксированный эффект каждого генотипа; animal_m – рандомизированный эффект m -ой коровы (n=10243 наблюдения)

имеющий нормальное распределение со средней, равной 0, и дисперсией, равной σ_a^2 ($\text{Var}_a \sim 0, \sigma_a^2$); ϵ_{ijklm} – эффект остатков модели.

Основные результаты

Для каждого животного были идентифицированы все генотипы исследуемого гена DGAT1 (таблица 1).

Таблица 1 - Частоты аллелей и генотипов генов DGAT1 у голштинизированного черно-пестрого скота опытного хозяйства

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.41.8.1>

Ген	Частоты генотипов			Частоты аллелей		χ^2	p-value
	AA	AK	KK	A	K		
DGAT1	0,16	0,47	0,36	0,4	0,6	0,03	0,98

В рамках исследуемой выборки голштинизированных черно-пестрых коров определены частоты встречаемости аллелей А (0,4) и К (0,6) гена DGAT1 SNP rs109234250, rs109326954 с частотой гетерозигот (H_o) 0,47. Отклонений фактического распределения частот генотипов от теоретического согласно закону Харди-Вайнберга не наблюдалось.

Преобладание аллеля К гена DGAT1 SNP rs109234250, rs109326954 в популяциях крупного рогатого скота больше характерно для местных и аборигенных пород скота. Так, у аборигенного африканского крупного рогатого скота частота встречаемости аллеля К составляет от 0,77 до 0,929, в то время как у их помесей с голштинской породой от 0,386 до 0,658 [15], [16]. Аналогичные данные показаны для черного японского мясного скота, где минорным являлся аллель А с низкой частотой встречаемости генотипа АА – 0,056 [17]. Среди отечественных пород скота повышение частоты встречаемости аллеля К принято ассоциировать с прилитием голштинской крови, особенно у черно-пестрой голштинизированной породы [18], а также с высокой частотой гетерозигот в различных популяциях холмогорской породы от 0,35 до 0,49 [19], [20]. Для европейской популяции голштинской породы характерно незначительное преобладание аллеля А, с долей гетерозигот – 0,47 [21], [22], [23], [24], приближенная ситуация показана и для китайской популяции голштинского скота, с тем исключением, что доля гомозиготного генотипа АА и доля гетерозигот были одинаковы – 0,479 и минимальным присутствием генотипа КК – 0,042 [25].

Из литературных данных также показано преобладание аллеля А гена DGAT1 в иностранных популяциях мясных и молочных породах крупного рогатого скота, при этом сопоставимые данные получены для таких европейских пород скота как симментальская, бурая, шароле, лимузин, абердин-ангуская, герефорд, у которых частота встречаемости аллеля А превышала 0,8, а иногда наблюдалось полное отсутствие аллеля К в популяции [26], [27], [28], [29].

Изменчивость жирнокислотного состава молока наиболее подвержена влиянию средовых и генетических факторов. Вариабельность состава жирных кислот изменялась в диапазоне от 24,97% до 44,85% и превышала изменчивость массовой доли жира – 27,63%. Наибольшая изменчивость наблюдалась у трансизомеров жирных кислот (ТФА) – 44,85%. В жирнокислотном составе молока наибольшую представленность среди индивидуальных жирных кислот имели олеиновая (С18:1) и пальмитиновая (С16:0) кислоты, а среди групп – насыщенные жирные кислоты (SFA), различия между среднецепочечными и длинноцепочечными жирными кислотами были минимальны (рис.1).

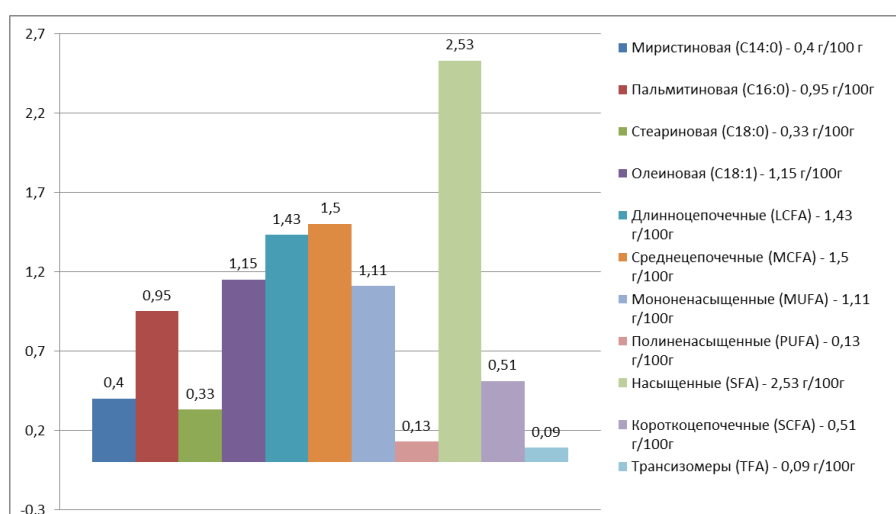


Рисунок 1 - Содержание жирных кислот в молоке голштинизированных черно-пестрых коров опытного хозяйства

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.41.8.2>

Полученные результаты можно объяснить влиянием породы, а точнее направленности продуктивности. Так, наивысшее содержание ненасыщенных и транс-изомеров жирных кислот в молоке с минимальным содержанием насыщенных длинноцепочечных жирных кислот присуще молочным породам крупного рогатого скота, в частности голштинской породе. Также молочные породы характеризуются повышенным содержанием насыщенных коротко- и

среднецепочечных жирных кислот, по сравнению с мясо-молочными породами, в молоке которых повышено присутствие мононенасыщенных длинноцепочечных жирных кислот [26].

Наследуемость показателей продуктивности и жирнокислотного состава молока колебалась в диапазоне от 0,13 до 0,58 (табл. 2). Для длинноцепочечных (LCFA), мононенасыщенных (MUFA), стеариновой (C18:0) и олеиновой (C18:1) жирных кислот были получены наименьшие коэффициенты наследуемости – 0,13-0,19. Максимальные коэффициенты были получены для миристиновой (C14:0) – 0,58, пальмитиновой (C16:0) – 0,41, среднецепочечных (MCFA) – 0,47. Полученные нами результаты согласуются с рядом авторов, также описавших высокую степень наследуемости – свыше 0,4 для C14:0 и C16:0 [30], [12], что может быть связано с тем, что молочный жир до 65% представлен насыщенными жирными кислотами, в частности, миристиновой и пальмитиновой, а также путями синтеза жирных кислот. Данные результаты подтверждаются очень высокой генетической корреляцией между жирными кислотами и массовой долей жира: МДЖ%/C14:0 – 0,87, МДЖ%/C16:0 – 0,94, МДЖ%/MCFA – 0,94, МДЖ%/SFA – 0,97. Также очень высокая положительная корреляция была получена для длинноцепочечных жирных кислот (LCFA) и стеариновой (0,89), олеиновой (0,97) жирных кислот; мононенасыщенных жирных кислот и стеариновой (0,78), олеиновой (0,96), длинноцепочечных жирных кислот (0,93). Для полиненасыщенных и транс-изомеров жирных кислот, была также получена очень высокая положительная корреляция (0,77), т.к. TFA являются побочным продуктом образования насыщенных жирных кислот путем гидрогенизации жирных кислот в рубце животного. Образование транс-изомеров жирных кислот из полиненасыщенных и то, что PUFA представлены в основном длинноцепочечными жирными кислотами подтверждается высокой положительной корреляцией между LCFA (0,67), C18:0 (0,61), C18:1 (0,69) и PUFA, а также средней положительной с TFA (0,38/0,46/0,34), низкой корреляцией между TFA/MUFA – 0,26, отрицательной корреляцией между PUFA и C14:0 (-0,19), C16:0 (-0,02), MCFA (-0,06) и средней отрицательной между TFA/C14:0 (-0,41), TFA/C16:0 (-0,33), TFA/MCFA (-0,37). Также низкая отрицательная корреляция между TFA и содержанием жира в молоке и остальными группами жирных кислот может подтверждать влияние трансизомеров ЖК на экспрессию генов, ассоциированных с синтезом молочного жира [31].

Таблица 2 - Наследуемость h^2 (по диагонали) и генетическая корреляция (под диагональю) между показателями продуктивности и жирнокислотным составом молока

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.41.8.3>

	Сут · удо й	МД Ж %	МД Б%	Cas B	C1 4:0	C1 6:0	C1 8:0	C1 8:1	LC FA	MC FA	M UF A	PU FA	SF A	SC FA	TF A
Сут очн ый удо й	0,39														
МД Ж %	- 0,42	0,31													
МД Б%	- 0,47	0,63	0,41												
Cas B	- 0,48	0,68	0,99	0,42											
C1 4:0	- 0,46	0,87	0,61	0,68	0,58										
C1 6:0	- 0,42	0,94	0,56	0,60	0,89	0,41									
C1 8:0	- 0,05	0,53	0,18	0,16	0,11	0,41	0,19								
C1 8:1	- 0,21	0,66	0,43	0,41	0,25	0,48	0,83	0,13							
LC FA	- 0,15	0,63	0,32	0,32	0,21	0,44	0,89	0,97	0,13						
MC	-	0,9	0,6	0,6	0,9	0,9	0,3	0,4	0,3	0,4					

FA	0,4 5	4	4	9	5	8	2	3	8	7					
M UF A	- 0,3 0	0,7 7	0,4 7	0,4 8	0,4 3	0,5 9	0,7 8	0,9 6	0,9 3	0,5 6	0,1 3				
PU FA	0,0 2	0,1 8	0,2 9	0,2 5	- 0,1 9	- 0,0 2	0,6 1	0,6 9	0,6 7	- 0,0 6	0,5 7	0,2 2			
SF A	- 0,3 7	0,9 7	0,6 2	0,6 6	0,8 2	0,9 6	0,5 6	0,6 4	0,6 1	0,9 5	0,7 1	0,2 0	0,3 3		
SC FA	- 0,2 7	0,9 1	0,6 2	0,6 5	0,7 2	0,8 5	0,5 8	0,6 6	0,6 4	0,8 4	0,6 8	0,3 7	0,9 5	0,3 0	
TF A	0,1 5	- 0,1 4	- 0,0 5	- 0,0 9	- 0,4 1	- 0,3 3	0,4 6	0,3 4	0,3 8	- 0,3 7	0,2 6	0,7 7	- 0,1 6	- 0,0 3	0,2 4

Влияние продолжительности лактации, выраженное через коэффициент регрессии измеряемого признака на количество дойных дней, представлено в таблице 3. Количество дойных дней варьировало в диапазоне от 10 до 1184. Полученные результаты соответствуют изменениям в продуктивности животного в течение лактации, так коэффициент регрессии для удоя составил -0,028, что говорит о естественном уменьшении продуктивности к концу лактации. Напротив, максимальные значения были получены для массовой доли жира и белка и, соответственно, содержания казеинов, а также для среднецепочечных и насыщенных жирных кислот, как максимально представленных в молочном жире.

Таблица 3 - Коэффициент регрессии показателя количество дойных дней (DIM)

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.41.8.4>

Показатель	Коэффициент регрессии
Суточный удой	-0,028±0,0004
МДЖ%	0,002±0,00007
МДБ%	0,002±0,00002
Казеин	0,002±0,00002
Миристиновая (C14:0)	0,0003±0,000006
Пальмитиновая (C16:0)	0,0005±0,00002
Стеариновая (C18:0)	-0,00002±0,00001
Олеиновая (C18:1)	0,0003±0,00002
Длинноцепочечные (LCFA)	0,0002±0,00003
Среднецепочечные (MCFA)	0,001±0,00003
Мононенасыщенные (MUFA)	0,0003±0,00002
Полиненасыщенные (PUFA)	0,00003±0,000002
Насыщенные (SFA)	0,001±0,00004
Короткоцепочечные (SCFA)	0,0002±0,00001
Трансизомеры (TFA)	-0,00002±0,000003

Стоит отметить, что в ранний период лактации у молочных коров часто наблюдается отрицательный энергетический баланс, что компенсируется активацией резервов организма, а именно запасов собственной жировой ткани, что отражается в профиле жирных кислот и сниженным содержанием коротко- и среднецепочечных жирных кислот [32], [33].

Генетические оценки состава молочного жира в зависимости от сезона лактации приведены в таблице 4. Было установлено наибольшее отрицательное влияние летнего периода на продуктивные качества и состав молочного жира коров. Так же отрицательные показатели были получены для насыщенных (SFA), среднецепочечных (MCFA), короткоцепочечных (SCFA) и пальмитиновой (C16:0) с миристиновой (C14:0) жирных кислот в весенний период. Для тех же групп и индивидуальных жирных кислот, а также массовой доли жира и белка было показано максимальное положительное влияние в зимний период. Также зимний период лактации положительно влиял на содержание стеариновой (C18:0), длинноцепочечных (LCFA) и ненасыщенных жирных кислот, но наибольшие значения были показаны для весеннего периода. Различий во влиянии зимнего и весеннего периодов на содержание олеиновой

(C18:1) жирной кислоты обнаружено не было. Для транс-изомеров (TFA) жирных кислот положительное влияние было выявлено только в весенний период лактации, также как и для суточного удоя. Данные о снижении содержания насыщенных коротко- и среднецепочечных жирных кислот в летний период и рост в зимний полностью согласуются с литературными данными, но отличные для насыщенных и ненасыщенных длинноцепочечных жирных кислот, где был показан их рост именно в летний период. Данная закономерность была объяснена авторами, как влияние наличия свежескошенной травы в рационе питания, в которой преобладают ненасыщенные жирные кислоты или выпас животных [34].

Таблица 4 - Влияние сезона лактации на показатели продуктивности и жирнокислотный состав молока

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.41.8.5>

Показатель	Весна	Зима	Лето	Осень
Суточный удой	0,666±0,138	-1,162±0,152	-1,218±0,15	0,0
МДЖ%	-0,099±0,024	0,18±0,026	-0,679±0,026	0,0
МДБ%	-0,088±0,008	-0,013±0,009	-0,218±0,009	0,0
Казеин	-0,084±0,007	-0,01±0,008	-0,223±0,008	0,0
Миристиновая (C14:0)	-0,031±0,002	0,017±0,002	-0,068±0,002	0,0
Пальмитиновая (C16:0)	-0,048±0,006	0,059±0,006	-0,139±0,006	0,0
Стеариновая (C18:0)	0,015±0,003	0,009±0,003	-0,046±0,003	0,0
Олеиновая (C18:1)	0,03±0,008	0,03±0,009	-0,134±0,009	0,0
Длинноцепочечные (LCFA)	0,046±0,011	0,036±0,012	-0,187±0,012	0,0
Среднецепочечные (MCFA)	-0,096±0,009	0,087±0,009	-0,260±0,009	0,0
Мононенасыщенные (MUFA)	0,032±0,008	0,029±0,009	-0,106±0,009	0,0
Полиненасыщенные (PUFA)	0,007±0,001	0,001±0,001	-0,014±0,001	0,0
Насыщенные (SFA)	-0,122±0,015	0,152±0,017	-0,519±0,017	0,0
Короткоцепочечные (SCFA)	-0,027±0,003	0,032±0,004	-0,131±0,004	0,0
Трансизомеры (TFA)	0,017±0,001	-0,001±0,001	-0,002±0,001	0,0

Результаты оценки влияния номера лактации на показатели продуктивности и состав жирных кислот демонстрируют общую закономерность в изменении обильномолочности и жирномолочности в зависимости от номера лактации (таблица 5).

Таблица 5 - Влияние номера лактации на показатели продуктивности и жирнокислотный состав молока

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.41.8.6>

Номер лактации	1	2	3	4	5
Суточный удой	2,632±0,578	2,983±0,57	1,880±0,58	0,983±0,644	0,0
МДЖ%	-0,69±0,086	-0,6±0,084	-0,45±0,087	-0,092±0,099	0,0
МДБ%	-0,13±0,035	-0,10±0,034	-0,03±0,035	-0,034±0,038	0,0
Казеин	-0,12±0,032	-0,09±0,031	-0,02±0,032	-0,017±0,035	0,0
Миристиновая (C14:0)	-0,15±0,012	-0,11±0,012	-0,07±0,012	-0,018±0,013	0,0
Пальмитиновая (C16:0)	-0,19±0,025	-0,14±0,024	-0,12±0,025	0,005±0,027	0,0

Стеариновая (C18:0)	0,004±0,008	-0,004±0,01	-0,02±0,008	-0,003±0,010	0,0
Олеиновая (C18:1)	-0,008±0,020	-0,04±0,020	-0,07±0,021	-0,03±0,026	0,0
Длинноцепочечные (LCFA)	0,04±0,027	-0,02±0,027	-0,07±0,028	-0,03±0,035	0,0
Среднецепочечные (MCFA)	-0,4±0,041	-0,28±0,040	-0,21±0,041	-0,023±0,045	0,0
Мононенасыщенные (MUFA)	-0,06±0,019	-0,09±0,019	-0,09±0,020	-0,035±0,025	0,0
Полиненасыщенные (PUFA)	0,017±0,002	0,012±0,002	0,01±0,002	0,002±0,003	0,0
Насыщенные (SFA)	-0,31±0,058	-0,22±0,057	-0,19±0,059	0,021±0,066	0,0
Короткоцепочечные (SCFA)	-0,03±0,012	-0,02±0,012	-0,02±0,012	0,011±0,014	0,0
Трансизомеры (TFA)	0,013±0,003	0,008±0,003	0,004±0,003	-0,001±0,004	0,0

Показано, что оценка массовой доли жира, а также насыщенных среднецепочечных жирных кислот, увеличивается с каждой последующей лактацией, достигая максимума в 4-ую (пальмитиновая, насыщенные жирные кислоты) или 5-ую лактацию (миристиновая, среднецепочечные жирные кислоты). Влияние на количество длинноцепочечных жирных кислот, существенно отличалось от среднецепочечных, так, максимальная оценка влияния номера лактации продемонстрирована для 1-ой лактации и к 3-ей достигает минимума. Максимально приближенные результаты были показаны и у мононенасыщенных жирных кислот, с той разницей, что максимально отрицательные оценки были получены для 2-ой и 3-ей лактации. Особый интерес представляют полиненасыщенные и транс-изомеры жирных кислот, т.к. для них показаны практически одинаковые тенденции и изменения оценок в зависимости от лактации.

Данные показатели и взаимодействия полностью согласуются с выше полученными данными, особенно в контексте объяснения путей получения жирных кислот молочного жира. Так, для первотелок характерен жирнокислотный профиль с преобладанием ненасыщенных жирных кислот. Авторы это связывают с тем, что первотелки все еще развиваются по сравнению со взрослыми коровами, также была отмечена сниженная экспрессия комплекса ферментов синтаз жирных кислот в молочной железе первотелок, которая выходит на уровень, характерный для коров последующих лактаций, только к последней трети первой лактации. Таким образом, происходит активное использование жирных кислот из кормов и собственных резервов [32], [33], [35].

Влияние аллельного полиморфизма гена DGAT1 на молочную продуктивность и жирнокислотный состав молока представлено в таблице 6.

Таблица 6 - Оценки влияния генотипов SNP rs109234250, rs109326954 гена DGAT1 на показатели молочной продуктивности и профиль жирных кислот

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.41.8.7>

Показатель	DGAT1		
	AA	AK	KK
Суточный удой	-1,674±1,089	-0,658±0,795	0,0
МДЖ%	0,54±0,136	0,326±0,099	0,0
МДБ%	0,234±0,064	0,12±0,047	0,0
Казеин	0,215±0,054	0,117±0,042	0,0
Миристиновая (C14:0)	0,052±0,017	0,036±0,012	0,0
Пальмитиновая (C16:0)	0,151±0,038	0,092±0,028	0,0
Стеариновая (C18:0)	0,033±0,012	0,017±0,009	0,0
Олеиновая (C18:1)	0,125±0,03	0,064±0,022	0,0
Длинноцепочечные (LCFA)	0,148±0,041	0,083±0,03	0,0
Среднецепочечные (MCFA)	0,237±0,06	0,148±0,044	0,0
Мононенасыщенные	0,107±0,029	0,058±0,021	0,0

(MUFA)			
Полиненасыщенные (PUFA)	0,011±0,003	0,006±0,002	0,0
Насыщенные (SFA)	0,406±0,092	0,243±0,067	0,0
Короткоцепочечные (SCFA)	0,09±0,02	0,054±0,014	0,0
Транс-изомеры (TFA)	0,004±0,005	0,003±0,003	0,0

Влияние полиморфизма rs109234250, rs109326954 гена DGAT1 на молочную продуктивность и состав жирных кислот показало положительную ассоциацию для всех рассматриваемых показателей для аллеля А, кроме удоя, где желательным аллелем является аллель К. Полученные результаты отличались от имеющихся данных, так для разводимых в нашей стране пород скота в основном было показано положительное влияние аллеля А на обильномолочность, в то время как на жирномолочность больше влиял аллель К [36], [37], [38], но обратный результат был получен для голштинизированных симменталов [18]. Среди иностранных исследователей, также имеются противоречивые результаты, вплоть до отсутствия достоверных ассоциаций. Однозначного влияния какого-либо из аллелей гена DGAT1 на жирнокислотный состав молочного жира также не представлено. Так, положительное влияние аллеля А, показанное E.Samková et al. 2021 [26] для насыщенных коротко- и среднецепочечных жирных кислот и положительное влияние аллеля К на ненасыщенные жирные кислоты, не согласуются с ранее полученными данными A.M. Carvajal et al 2015 [24] и Schennink et al. 2008 [21], Ассоциация аллеля К с длинноцепочечными жирными кислотами, у последних авторов, отличалась от результатов G. Conte et al. 2010 [39], который показал взаимосвязь с аллелем А.

Влияние аллеля А на содержание транс-изомеров жирных кислот хоть и было показано, но достоверных отличий обнаружено не было.

Заключение

В нашем исследовании было изучено влияние на молочную продуктивность и состав жирных кислот таких факторов, как возраст животного, выраженный в номере лактации, продолжительность и сезон лактации, а также полиморфизм гена DGAT1. Полученные результаты предполагают возможность изменения профиля жирных кислот молочного жира в результате отбора и селекции. Но стоит учитывать, что селекционная работа в равной степени может регулироваться скорректированным рационом кормления с содержанием желательных жирных кислот. Использование информации о генотипах гена DGAT1 в полной мере на данный момент затруднительно, т.к. наибольшее влияние аллельного полиморфизма показано для содержания жира в молоке, что, возможно, корректирует оценки жирнокислотного состава, но однозначных сведений о влиянии определенного аллеля нет. Это свидетельствует о необходимости дополнительных дальнейших исследований в данном направлении с расширением исследовательской базы и параметров.

Финансирование

Исследования выполнены по теме государственного задания Минобрнауки России.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

Research carried out on the topic of a state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. German J.B. A Reappraisal of the Impact of Dairy Foods and Milk Fat on Cardiovascular Disease Risk / J.B. German, R.A. Gibson, R.M. Krauss [et al.] // *European Journal of Nutrition*. — 2009. — Vol. 48(4). — P. 191-203. — DOI: 10.1007/s00394-009-0002-5.
2. Lopez-Huertas E. Health Effects of Oleic Acid and Long Chain Omega-3 Fatty Acids (EPA and DHA) Enriched Milks. A review of intervention studies / E. Lopez-Huertas // *Pharmacological Research*. — 2010. — Vol. 61(3) — P. 200-207. DOI: 10.1016/j.phrs.2009.10.007.
3. Kris-Etherton P.M. Dietary Stearic Acid and Risk of Cardiovascular Disease: Intake, Sources, Digestion, and Absorption / P.M. Kris-Etherton, A.E. Griel, T.L. Psota [et al.] // *Lipids* — 2005. — Vol. 40(12). — P. 1193-1200. — DOI: 10.1007/s11745-005-1485-y
4. Lock A.L. Modifying Milk Fat Composition of Dairy Cows to Enhance Fatty Acids Beneficial to Human Health / A.L. Lock, D.E. Bauman // *Lipids*. — 2004. — Vol. 39(12). — P. 1197-1206.
5. Bobe G. Short Communication: Estimates of Genetic Variation of Milk Fatty Acids in US Holstein Cows / G. Bobe, J.A. Minick-Bormann, G.L. Lindberg [et al.] // *J Dairy Sci*. — 2008. — Vol. 91 — P. 1209-13. — DOI: 10.3168/jds.2007-0252

6. Chilliard Y. Adipose Tissue Metabolism and Its Role in Adaptations to Undernutrition in Ruminants / Y. Chilliard, A. Ferlay, Y. Faulconnier [et al.] // *Proc Nutr Soc.* — 2000. — Vol. 59 — P. 127-34. — DOI: 10.1017/S002966510000015X
7. Mansson H.L. Fatty Acids in Bovine Milk Fat / H.L. Mansson // *Food Nutr Res* — 2008. — Vol. 52. — P. 1821. — DOI: 10.3402/fnr.v52i0.1821
8. Bernard L. Expression and Nutritional Regulation of Lipogenic Genes in the Ruminant Lactating Mammary Gland / L. Bernard, C. Leroux, Y. Chilliard // *Experimental Medicine and Biology.* — 2008. — Vol. 606. — P. 67-108.
9. Chilliard Y. Effect of Different Types of Forages, Animal Fat or Marine Oils in Cow's Diet on Milk Fat Secretion and Composition, Especially Conjugated Linoleic Acid (CLA) and Polyunsaturated Fatty Acids / Y. Chilliard, A. Ferlay, M. Doreau // *Livest. Prod. Sci.* — 2001. — Vol. 70 — P. 31-48.
10. Bouwman A.C. Genome-wide Association of Milk Fatty Acids in Dutch Dairy Cattle / A.C. Bouwman, H. Bovenhuis, M. Visker [et al.] // *BMC Genetics.* — 2011. — Vol. 12 — P. 43.
11. Зарипов О.Г. Влияние полиморфизмов генов SCD1 (стерол-КоА десатураза) и AGPAT6 (1-ацилглицерин-3-фосфат-О-ацилтрансфераза) на содержание и жирнокислотный состав молочного жира у коров голштинизированной черно-пестрой породы / О.Г. Зарипов // *Международный научно-исследовательский журнал.* — 2023. — №11 (137). — URL: <https://research-journal.org/archive/11-137-2023-november/10.23670/IRJ.2023.137.148> (дата обращения: 20.11.2023). — DOI: 10.23670/IRJ.2023.137.148
12. Zaalberg R.M. Genome-wide Association Study on Fourier Transform Infrared Milk Spectra for Two Danish Dairy Cattle Breeds / R. M. Zaalberg, L. Janss, A. J. Buitenhuis // *BMC Genetics.* — 2020. — Vol. 21. — P. 9. — DOI: 10.1186/s12863-020-0810-4
13. Ковальчук С.Н. Усовершенствованный способ генотипирования крупного рогатого скота по аллелям А и К DGAT1 на основе ПЦР в реальном времени / С.Н. Ковальчук, А.Л. Архипова, И.Н. Андрейченко [и др.] // *Проблемы биологии продуктивных животных.* — 2017. — № 4. — С. 96-103.
14. Misztal I. BLUPF90 and Related Programs (BGF90) / I. Misztal, S. Tsuruta, T. Strabel [et al.] // *Proceedings of the 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production Montpellier, Communication No. 28-27.* — 2002. — Vol. 28. — P. 21-22.
15. Houaga I. Milk Fatty Acid Variability and Association with Polymorphisms in SCD1 and DGAT1 Genes in White Fulani and Borgou Cattle Breeds / I.Houaga, A.W.T. Muigai, F.M. Ng'ang'a // *Molecular Biology Reports.* — 2018. — Vol. 45. — P.1849—1862
16. Elzaki S. Effects of DGAT1 on Milk Performance in Sudanese Butana×Holstein Crossbred Cattle / S. Elzaki, P. Korkuć, D. Arends [et al.] // *Tropical Animal Health and Production.* — 2022 — Vol. 54. — P. 142. — DOI: 10.1007/s11250-022-03141-7
17. Kawaguchi F. Effect of DNA Markers on the Fertility Traits of Japanese Black Cattle for Improving Beef Quantity and Quality / F. Kawaguchi, M. Tsuchimura, K. Oyama [et al.] // *Arch. Anim. Breed.* — 2020. — Vol. 63. — P. 9-17.
18. Костюнина О.В. Связь полиморфизма DGAT1 с показателями молочной продуктивности у коров различных пород / О.В. Костюнина, Н.А. Зиновьева, Ю.Р. Юльметьева [и др.] // *Проблемы биологии продуктивных животных.* — 2012. — № 4. — С. 63-69
19. Тюлькин С.В. Молекулярно-генетическое тестирование крупного рогатого скота по генам белков молока, гормонов, фермента и наследственных заболеваний: дис. на соискание учёной степени доктора биологических наук: 06.02.07: защищена 11.06.2019; утв. 23.10.2019 / Тюлькин Сергей Владимирович. — Казань, 2019. — 349 с.
20. Ларионова П.В. Разработка и экспериментальная апробация систем анализа полиморфизма генов-кандидатов липидного обмена у крупного рогатого скота: дис.на соискания ученой степени кандидата биологических наук: 03.00.23, 06.02.01: защищена 04.06.2023 / Ларионова Полина Валентиновна. — Дубровицы, 2006
21. Schennink A. Milk Fatty Acid Unsaturation: Genetic Parameters and Effects of Stearoyl-CoA Desaturase (SCD1) and Acyl CoA: Diacylglycerol Acyltransferase 1 (DGAT1) / A. Schennink, J. M. L. Heck, H. Bovenhuis [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2008. — Vol. 91. — P. 2135-2143
22. Kesek-Wozniak M.M. Impact of SNPs in ACACA, SCD1, and DGAT1 Genes on Fatty Acid Profile in Bovine Milk with Regard to Lactation Phases / M.M. Kesek-Wozniak, E. Wojtas, A.E. Zielak-Steciwo // *Animals.* — 2020. — Vol. 10. — P. 997
23. Demeter R. M. Effects of Milk Fat Composition, DGAT1, and SCD1 on Fertility Traits in Dutch Holstein Cattle / R.M. Demeter, G.C.B. Schopen, A.G.J.M. Oude Lansink [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2009. — Vol. 92. — P.5720-5729
24. Carvajal A.M. Milk Fatty Acid Profile is Modulated by DGAT1 and SCD1 Genotypes in Dairy Cattle on Pasture and Strategic Supplementation / A.M. Carvajal, P. Huirican, J.M. Dezamour // *Genetics and Molecular Research.* — 2015. — Vol.15(2): gmr7057. — DOI: 10.4238/gmr.15027057
25. Wu X.X. Association of SCD1 and DGAT1 SNPs with the Intramuscular Fat Traits in Chinese Simmental Cattle and Their Distribution in Eight Chinese Cattle Breeds / X. X. Wu, Z. P. Yang, X. K. Shi // *Mol Biol Rep.* — 2012. — Vol. 39. — P. 1065-1071
26. Samkova E. Associations among Farm, Breed, Lactation Stage and Parity, Gene Polymorphisms and the Fatty Acid Profile of Milk from Holstein, Simmental and Their Crosses / E. Samkova, J. Cítek, M. Brzákova [et al.] // *Animals.* — 2021. — Vol. 11. — P. 3284. — DOI: 10.3390/ani11113284
27. Cítek J. Gene Polymorphisms Influencing Yield, Composition and Technological Properties of Milk from Czech Simmental and Holstein Cows / J. Cítek, M. Brzakova, L. Hanusova [et al.] // *Anim Biosci.* — 2021. — Vol. 34(1) — P. 2-11
28. Li X. Association of Polymorphisms at DGAT1, leptin, SCD1, CAPN1 and CAST Genes with Color, Marbling and Water Holding Capacity in Meat from Beef Cattle Populations in Sweden / X. Li., M. Ekerljung, K. Lundstrom [et al.] // *Meat Science.* — 2013. — Vol. 94. — P.153-158

29. Aviles C. Associations between DGAT1, FABP4, LEP, RORC, and SCD1 Gene Polymorphisms and Fat Deposition in Spanish Commercial Beef / C. Aviles, O. Polvillo, F. Pena [et al.] // J ANIM SCI. — 2013. — Vol. 91. — P. 4571-4577
30. Hossein-Zadeh N.G. A Meta-analysis of Heritability Estimates for Milk Fatty Acids and Their Genetic Relationship with Milk Production Traits in Dairy Cows Using a Random-effects Model / N.G. Hossein-Zadeh // Livestock Science. — 2021. — Vol. 244. 104388. — DOI: 10.1016/j.livsci.2020.104388
31. Bauman D.E. Regulation and Nutritional Manipulation of Milk Fat: Low-fat Milk Syndrome / D.E. Bauman, J.M. Griinari // Livestock Production Science. — 2001. — Vol. 70(1). — P. 15-29. — DOI: 10.1016/S0301-6226(01)00195-6
32. Park C.H. Genetic Parameters for Milk Fatty Acid Composition of Holstein in Korea / C.H. Park, U. Ranaraja, C.G. Dang [et al.] // Asian-Australas J Anim Sci. — 2020. — Vol. 33 — P. 1573-1578
33. Samkova E. Joint Effects of Breed, Parity, Month of Lactation, and Cow Individuality on the Milk Fatty Acids Composition / E. Samkova, J. Koubova, L. Hasonova [et al.] // Mljekarstvo. — 2018. — Vol. 68(2). — P. 98-107. — DOI: 10.15567/mljekarstvo.2018.0203
34. Duchemin S. Genetic Correlation between Composition of Bovine Milk Fat in Winter and Summer, and DGAT1 and SCD1 by Season Interactions / S. Duchemin, H. Bovenhuis, W.M. Stoop [et al.] // J. Dairy Sci. — 2012. — Vol. 96. — P. 592-604 — DOI: 10.3168/jds.2012-5454
35. Miller N. Effect of Stage of Lactation and Parity on Mammary Gland Cell Renewal / N. Miller, L. Delbecchi, D. Petitclerc [et al.] // J Dairy Sci. — 2006. — Vol. 89. — P. 4669-77. — DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72517-6
36. Зиннатова Ф.Ф. Роль генов липидного обмена (DGAT1, TG5) в улучшении хозяйственно-полезных признаков крупного рогатого скота / Ф.Ф. Зиннатова, Ф.Ф. Зиннатов // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. — 2014. — №3. — С. 164-168
37. Позовникова М.В. Связь полиморфизма гена DGAT1 с хозяйственно полезными признаками коров / М.В. Позовникова, О.В. Тулинова, Г.Н. Сердюк [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. — 2017. — № 8. — С. 9-12
38. Виноградова И.В. Ассоциация полиморфизма генов DGAT1 и GHR с показателями молочной продуктивности коров черно-пестрой породы / И.В. Виноградова, О.В. Костюнина, А.А. Сермягин [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. — 2018. — № 2. — С. 8-11
39. Conte G. Diacylglycerol Acyltransferase 1, Stearoyl-CoA desaturase 1, and Sterol Regulatory Element Binding Protein 1 Gene Polymorphisms and Milk Fatty Acid Composition in Italian Brown Cattle / G. Conte, M. Mele, S. Chessa [et al.] // J. Dairy Sci. — 2010. — Vol. 93. — P.753-763

Список литературы на английском языке / References in English

1. German J.B. A Reappraisal of the Impact of Dairy Foods and Milk Fat on Cardiovascular Disease Risk / J.B. German, R.A. Gibson, R.M. Krauss [et al.] // European Journal of Nutrition. — 2009. — Vol. 48(4). — P. 191-203. —DOI: 10.1007/s00394-009-0002-5.
2. Lopez-Huertas E. Health Effects of Oleic Acid and Long Chain Omega-3 Fatty Acids (EPA and DHA) Enriched Milks. A review of intervention studies / E. Lopez-Huertas // Pharmacological Research. — 2010. — Vol. 61(3) — P. 200-207. DOI: 10.1016/j.phrs.2009.10.007.
3. Kris-Etherton P.M. Dietary Stearic Acid and Risk of Cardiovascular Disease: Intake, Sources, Digestion, and Absorption / P.M. Kris-Etherton, A.E. Griel, T.L. Psota [et al.] // Lipids — 2005. — Vol. 40(12). — P. 1193-1200. — DOI: 10.1007/s11745-005-1485-y
4. Lock A.L. Modifying Milk Fat Composition of Dairy Cows to Enhance Fatty Acids Beneficial to Human Health / A.L. Lock, D.E. Bauman // Lipids. — 2004. — Vol. 39(12). — P. 1197-1206.
5. Bobe G. Short Communication: Estimates of Genetic Variation of Milk Fatty Acids in US Holstein Cows / G. Bobe, J.A. Minick-Bormann, G.L. Lindberg [et al.] // J Dairy Sci. — 2008. — Vol. 91 — P. 1209-13. — DOI: 10.3168/jds.2007-0252
6. Chilliard Y. Adipose Tissue Metabolism and Its Role in Adaptations to Undernutrition in Ruminants / Y. Chilliard, A. Ferlay, Y. Faulconnier [et al.] // Proc Nutr Soc. — 2000. — Vol. 59 — P. 127-34. —DOI: 10.1017/S002966510000015X
7. Mansson H.L. Fatty Acids in Bovine Milk Fat / H.L. Mansson // Food Nutr Res — 2008. — Vol. 52. — P. 1821. —DOI: 10.3402/fnr.v52i0.1821
8. Bernard L. Expression and Nutritional Regulation of Lipogenic Genes in the Ruminant Lactating Mammary Gland / L. Bernard, C. Leroux, Y. Chilliard // Experimental Medicine and Biology. — 2008. — Vol. 606. — P. 67-108.
9. Chilliard Y. Effect of Different Types of Forages, Animal Fat or Marine Oils in Cow's Diet on Milk Fat Secretion and Composition, Especially Conjugated Linoleic Acid (CLA) and Polyunsaturated Fatty Acids / Y. Chilliard, A. Ferlay, M. Doreau // Livest. Prod. Sci. — 2001. — Vol. 70 — P. 31-48.
10. Bouwman A.C. Genome-wide Association of Milk Fatty Acids in Dutch Dairy Cattle / A.C. Bouwman, H. Bovenhuis, M. Visker [et al.] // BMC Genetics. — 2011. — Vol. 12 — P. 43.
11. Зарипов О.Г. Влияние полиморфизмов генов SCD1 (sterol-KoA desaturaza) I AGPAT6 (1-acylglycerin-3-fosfat-O-aciltransferaza) на содержание и жирнокислотный состав молочного жира у коров голштинизированной черно-пестрой породы [The Effect of Polymorphisms of the SCD 1 Gene (stearoyl-Coa desaturase) and AGPAT6 (1-acylglycerin-3-phosphate-O-acyltransferase) on the Content and Fatty Acid Composition of Milk Fat in Holstein Black-and-white Cows] / O.G. Zaripov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. — 2023. — №11 (137). — URL: <https://research-journal.org/archive/11-137-2023-november/10.23670/IRJ.2023.137.148> (accessed: 20.11.2023). — DOI: 10.23670/IRJ.2023.137.148 [in Russian]
12. Zaalberg R.M. Genome-wide Association Study on Fourier Transform Infrared Milk Spectra for Two Danish Dairy Cattle Breeds / R. M. Zaalberg, L. Janss, A. J. Buitenhuis // BMC Genetics. — 2020. — Vol. 21. — P. 9. —DOI: 10.1186/s12863-020-0810-4

13. Koval'chuk S.N. Usovershenstvovannyj sposob genotipirovaniya krupnogo rogatogo skota po allelyam A i K DGAT1 na osnove PCR v real'nom vremeni [An Improved Method for Genotyping Cattle along the AiK DGAT1 Alley Based on CR in Real Time] / S.N. Koval'chuk, A.L. Arhipova, I.N. Andrejchenko [et al.] // Problemy biologii produktivnyh zhivotnyh [Problems of Biology of Productive Animals]. — 2017. — № 4. — P. 96-103 [in Russian].
14. Misztal I. BLUPF90 and Related Programs (BGF90) / I. Misztal, S. Tsuruta, T. Strabel [et al.] // Proceedings of the 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production Montpellier, Communication No. 28-27. — 2002. — Vol. 28. — P. 21-22.
15. Houaga I. Milk Fatty Acid Variability and Association with Polymorphisms in SCD1 and DGAT1 Genes in White Fulani and Borgou Cattle Breeds / I.Houaga, A.W.T. Muigai, F.M. Ng'ang'a // Molecular Biology Reports. — 2018. — Vol. 45. — P.1849—1862
16. Elzaki S. Effects of DGAT1 on Milk Performance in Sudanese Butana×Holstein Crossbred Cattle / S. Elzaki, P. Korkuć, D. Arends [et al.] // Tropical Animal Health and Production. — 2022 — Vol. 54. — P. 142. —DOI: 10.1007/s11250-022-03141-7
17. Kawaguchi F. Effect of DNA Markers on the Fertility Traits of Japanese Black Cattle for Improving Beef Quantity and Quality / F. Kawaguchi, M. Tsuchimura, K. Oyama [et al.] // Arch. Anim. Breed. — 2020. — Vol. 63. — P. 9-17.
18. Kostyunina O.V. Svyaz' polimorfizma DGAT1 s pokazatelyami molochnoj produktivnosti u korov razlichnyh porod [The Relationship of DGAT1 Polymorphism with Indicators of Milk Productivity in Cows of Various Breeds] / O.V. Kostyunina, N.A. Zinov'eva, YU.R. YU'ime'eva [et al.] // Problemy biologii produktivnyh zhivotnyh [Problems of Biology of Productive Animals]. — 2012. — № 4. — P. 63-69 [in Russian]
19. Tyul'kin S.V. Molekulyarno-geneticheskoe testirovanie krupnogo rogatogo skota po genam belkov moloka, gormonov, fermenta i nasledstvennyh zabolevanij [Molecular Genetic Testing of Cattle by Veins of Milk Proteins, Hormones, Enzymes and Hereditary Diseases]: dis.... of PhD Biological Sciences: 06.02.07: defended 11.06.2019: approved 23.10.2019 / Tyul'kin Sergej Vladimirovich. — Kazan, 2019. — 349 p. [in Russian]
20. Larionova P.V. Razrabotka i eksperimental'naya aprobaciya sistem analiza polimorfizma genov-kandidatov lipidnogo obmena u krupnogo rogatogo skota: [Development and Experimental Approbation of a System for Analyzing Polymorphism of Candidate Genes for Lipid Metabolism in Cattle]: dis. of PhD of Biological Sciences: 03.00.23, 06.02.01: defended 04.06.2023 / Larionova Polina Valentinovna. — Dubrovicy, 2006 [in Russian]
21. Schennink A. Milk Fatty Acid Unsaturation: Genetic Parameters and Effects of Stearoyl-CoA Desaturase (SCD1) and Acyl CoA: Diacylglycerol Acyltransferase 1 (DGAT1) / A. Schennink, J. M. L. Heck, H. Bovenhuis [et al.] // J. Dairy Sci. — 2008. — Vol. 91. — P. 2135-2143
22. Kesek-Wozniak M.M. Impact of SNPs in ACACA, SCD1, and DGAT1 Genes on Fatty Acid Profile in Bovine Milk with Regard to Lactation Phases / M.M. Kesek-Wozniak, E. Wojtas, A.E. Zielak-Steciwo // Animals. — 2020. — Vol. 10. — P. 997
23. Demeter R. M. Effects of Milk Fat Composition, DGAT1, and SCD1 on Fertility Traits in Dutch Holstein Cattle / R.M. Demeter, G.C.B. Schopen, A.G.J.M. Oude Lansink [et al.] // J. Dairy Sci. — 2009. — Vol. 92. — P.5720-5729
24. Carvajal A.M. Milk Fatty Acid Profile is Modulated by DGAT1 and SCD1 Genotypes in Dairy Cattle on Pasture and Strategic Supplementation / A.M. Carvajal, P. Huircan, J.M. Dezamour // Genetics and Molecular Research. — 2015. — Vol.15(2): gmr7057. —DOI: 10.4238/gmr.15027057
25. Wu X.X. Association of SCD1 and DGAT1 SNPs with the Intramuscular Fat Traits in Chinese Simmental Cattle and Their Distribution in Eight Chinese Cattle Breeds / X. X. Wu, Z. P. Yang, X. K. Shi // Mol Biol Rep. — 2012. — Vol. 39. — P. 1065-1071
26. Samkova E. Associations among Farm, Breed, Lactation Stage and Parity, Gene Polymorphisms and the Fatty Acid Profile of Milk from Holstein, Simmental and Their Crosses / E. Samkova, J. Cítek, M. Brzáková [et al.] // Animals. — 2021. — Vol. 11. — P. 3284. —DOI: 10.3390/ani11113284
27. Cítek J. Gene Polymorphisms Influencing Yield, Composition and Technological Properties of Milk from Czech Simmental and Holstein Cows / J. Cítek, M. Brzakova, L. Hanusova [et al.] // Anim Biosci. — 2021. — Vol. 34(1) — P. 2-11
28. Li X. Association of Polymorphisms at DGAT1, leptin, SCD1, CAPN1 and CAST Genes with Color, Marbling and Water Holding Capacity in Meat from Beef Cattle Populations in Sweden / X. Li., M. Ekerljung, K. Lundstrom [et al.] // Meat Science. — 2013. — Vol. 94. — P.153-158
29. Aviles C. Associations between DGAT1, FABP4, LEP, RORC, and SCD1 Gene Polymorphisms and Fat Deposition in Spanish Commercial Beef / C. Aviles, O. Polvillo, F. Pena [et al.] // J ANIM SCI. — 2013. — Vol. 91. — P. 4571-4577
30. Hossein-Zadeh N.G. A Meta-analysis of Heritability Estimates for Milk Fatty Acids and Their Genetic Relationship with Milk Production Traits in Dairy Cows Using a Random-effects Model / N.G. Hossein-Zadeh // Livestock Science. — 2021. — Vol. 244. 104388. — DOI: 10.1016/j.livsci.2020.104388
31. Bauman D.E. Regulation and Nutritional Manipulation of Milk Fat: Low-fat Milk Syndrome / D.E. Bauman, J.M. Griinari // Livestock Production Science. — 2001. — Vol. 70(1). — P. 15-29. — DOI: 10.1016/S0301-6226(01)00195-6
32. Park C.H. Genetic Parameters for Milk Fatty Acid Composition of Holstein in Korea / C.H. Park, U. Ranaraja, C.G. Dang [et al.] // Asian-Australas J Anim Sci. — 2020. — Vol. 33 — P. 1573-1578
33. Samkova E. Joint Effects of Breed, Parity, Month of Lactation, and Cow Individuality on the Milk Fatty Acids Composition / E. Samkova, J. Koubova, L. Hasonova [et al.] // Mljekarstvo. — 2018. — Vol. 68(2). — P. 98-107. — DOI: 10.15567/mljekarstvo.2018.0203
34. Duchemin S. Genetic Correlation between Composition of Bovine Milk Fat in Winter and Summer, and DGAT1 and SCD1 by Season Interactions / S. Duchemin, H. Bovenhuis, W.M. Stoop [et al.] // J. Dairy Sci. — 2012. — Vol. 96. — P. 592-604 — DOI: 10.3168/jds.2012-5454

35. Miller N. Effect of Stage of Lactation and Parity on Mammary Gland Cell Renewal / N. Miller, L. Delbecchi, D. Petitclerc [et al.] // *J Dairy Sci.* — 2006. — Vol. 89. — P. 4669-77. — DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72517-6
36. Zinnatova F.F. Rol' genov lipidnogo obmena (DGAT1, TG5) v uluchshenii hozyajstvenno-poleznyh priznakov krupnogo rogatogo skota [The Role of Lipid Metabolism Genes (DGAT1, TG5) in Improving the Economically Useful Traits of Cattle] / F.F. Zinnatova, F.F. Zinnatov // *Uchenye zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny im. N.E. Baumana* [Scientific Notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman]. — 2014. — №3. — P. 164-168 [in Russian]
37. Pozovnikova M.V. Svyaz' polimorfizma gena DGAT1 s hozyajstvenno poleznymi priznakami korov [The Relationship of DGAT1 Gene Polymorphism with Economically Useful Traits of Cows] / M.V. Pozovnikova, O.V. Tulinova, G.N. Serdyuk [et al.] // *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* [Dairy and Beef Cattle Breeding]. — 2017. — № 8. — P. 9-12 [in Russian]
38. Vinogradova I.V. Associaciya polimorfizma genov DGAT1 i GHR s pokazatelyami molochnoj produktivnosti korov cherno-pestroj porody [Association of Polymorphism of GSTT1 and GHYR Genes with Indicators of Milk Productivity of Black-and-white Cows] / I.V. Vinogradova, O.V. Kostyunina, A.A. Sermyagin [et al.] // *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* [Dairy and Beef Cattle Breeding]. — 2018. — № 2. — P. 8-11 [in Russian]
39. Conte G. Diacylglycerol Acyltransferase 1, Stearoyl-CoA desaturase 1, and Sterol Regulatory Element Binding Protein 1 Gene Polymorphisms and Milk Fatty Acid Composition in Italian Brown Cattle / G. Conte, M. Mele, S. Chessa [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2010. — Vol. 93. — P.753-763