

РАЗВЕДЕНИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, ГЕНЕТИКА И БИОТЕХНОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ / BREEDING, SELECTION, GENETICS AND BIOTECHNOLOGY OF ANIMALS

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.148>

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

Научная статья

Зарипов О.Г.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0001-7493-4410;¹ Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, Подольск, Российская Федерация

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

Аннотация

Целью данной работы была оценка частот встречаемости аллельных полиморфизмов генов SCD1 (Стерол-КоА десатураза) и AGPAT6 (1-Ацилглицерин-3-фосфат-О-ацилтрансфераза) и взаимосвязи с показателями продуктивности (удой, содержание жира и белка) животных и жирокислотным составом молока. Исследования проводились на коровах голштинизированной черно-пестрой породы опытного хозяйства (n=310). Аллельный полиморфизм генов SCD1 и AGPAT6 оценивался с применением полимеразной цепной реакции в реальном времени. Частоты аллелей Т и С гена SCD1 rs41255693, составили 0,17 и 0,83, соответственно, а частоты аллелей G и T гена AGPAT6 rs 211250281 составили 0,54 и 0,46 соответственно. Достоверные различия по уровню суточного удоя от генотипов получены не были. Аллель С гена SCD1 и аллель G гена AGPAT6, оказывали положительное влияние ($P \leq 0.001$) содержание жира в молоке. По содержанию жирных кислот, животные с генотипами СТ и СС гена SCD1 превосходили животных с генотипом ТТ ($P \leq 0.001$), за исключением транс-изомеров жирных кислот, где наблюдалась обратная ситуация. В случае с геном AGPAT6 преобладание жирных кислот наблюдалось у генотипов GG и GT, кроме транс-изомеров, где минимальные значения были у генотипа GT.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, Стерол-КоА десатураза, 1-Ацилглицерин-3-фосфат-О-ацилтрансфераза, жирные кислоты.

INFLUENCE OF SCD1 (STEROL-COA DESATURASE) AND AGPAT6 (1-ACYLGLYCERYL-3-PHOSPHATE-O-ACYLTRANSFERASE) GENES POLYMORPHISMS ON CONTENT AND FAT COMPOSITION OF MILK FAT IN GOLSTINIZED BLACK-AND-WHITE COWS

Research article

Zaripov O.G.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0001-7493-4410;¹ Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Podolsk, Russian Federation

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

Abstract

The aim of this work was to evaluate the frequencies of allelic polymorphisms of SCD1 (Sterol-CoA desaturase) and AGPAT6 (1-Acylglycerol-3-phosphate-O-acyltransferase) genes and their correlation with animal performance indicators (milk yield, fat and protein content) and fatty acid composition of milk. The studies were carried out on Holsteinised black-and-white cows of the experimental farm (n=310). Allelic polymorphism of SCD1 and AGPAT6 genes was evaluated using real-time polymerase chain reaction. The allele frequencies of T and C alleles of SCD1 gene rs41255693, were 0.17 and 0.83, respectively, and the allele frequencies of G and T alleles of AGPAT6 gene rs 211250281 were 0.54 and 0.46, respectively. No significant differences in daily milk yield from genotypes were obtained. Allele C of SCD1 gene and allele G of AGPAT6 gene, had a positive effect ($P \leq 0.001$) of milk fat content. In terms of fatty acid content, animals with the ST and CC genotypes of the SCD1 gene were superior to animals with the TT genotype ($P \leq 0.001$), except for the trans-isomers of fatty acids, where the opposite situation was observed. In the case of the AGPAT6 gene, the predominance of fatty acids was observed in the GG and GT genotypes, except for trans-isomers, where the minimum values were observed in the GT genotype.

Keywords: cattle, Sterol-CoA desaturase, 1-Acylglycerol-3-phosphate-O-acyltransferase, fatty acids.

Введение

Молочный жир является сложносоставным продуктом состоящим из фосфолипидов, холестерина, ди- и триацилглицеридов. Триацилглицериды (TAG) составляющие основную массу жира и являясь производным глицерина и трех жирных кислот, синтезируется в молочной железе либо de novo, либо поступают из плазмы крови [1]. Функции и характеристики TAG зависят от доступности жирных кислот присутствующих в эпителиальных тканях молочной железы. В молочном жире насчитывается свыше 400 жирных кислот, но только 15-20 из них представлены в количествах превышающие 1% от общего содержания липидов и варьируют от C4 до C18, а также включают насыщенные, моно-и полиненасыщенные жирные кислоты [2]. Так жирные кислоты с короткой и средней цепью от C4 до C16 синтезируются de novo в молочной железе, тогда как остальные ЖК поступают из плазмы крови [3], липидный состав в определенной степени передается по наследству. Наследуемость содержания жирных кислот в молоке

колеблется в диапазоне от 0,2 до 0,4 для насыщенных ЖК, а для таких кислот как С6:0, С8:0, С10:0 и С14:0 даже превышает указанные значения [4]. У крупного рогатого скота генетическими исследованиями с применением GWAS-анализа, выявлены многочисленные области генома отвечающие за ассоциации с количественными признаками (QTL), но для состава и содержания жирных кислот в молоке, обнаружены только единичные гены. Значимые ассоциации в ранних исследованиях были получены для областей QTL располагающиеся на 26 и 27 хромосомах [5], что соответствуют генам SCD1 (Стерол-СoА десатураза 1), и AGPAT6 (1-ацилглицерин-3-фосфат-О-ацилтрансфераза). Для гена SCD1 в ряде исследований была установлена взаимосвязь с содержанием средне- и длиноцепочечных ненасыщенных жирных кислот, в частности с С14:0, С14:1 и С16:0, С16:1 у голштинов и симменталов разводимых в Италии [6], а также определены шесть однонуклеотидных замен, располагающиеся как и в кодирующих областях, так и в интронных, из которых была отмечена SNP с.878С>Т в 3-м экзоне, приводящая к замене аланина на валин в белковой цепи [7]. Для AGPAT6 была показана регуляторная функция в процессе синтеза липидов, т.к. он входит в семейство ферментов ацилглицерофосфатацилтрансферазы (AGPAT), при этом являясь наиболее экспрессируемым из всех генов входящих в QTL на 27 хромосоме [8]. Нокаут AGPAT6 приводит к значительному снижению концентраций TGA в эпителиальных клетках молочной железы у коров и буйволов, а также снижению уровня экспрессии мРНК генов SCD1, DGAT1, PLIN2, что приводило к снижению количества жира и размеру липидных капель в молоке [9]. На основании вышеизложенного целью нашей работы является оценка уровня полиморфизма генов SCD1 и AGPAT6 в популяции крупного рогатого скота голштинизированной черно-пестрой породы и влияние их на продуктивные показатели и жирнокислотный состав молока.

Методы и принципы исследования

Исследования проводились на животных голштинизированной черно-пестрой породы (n=310) (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.

Реакцию амплификации проводили в 20 мкл смеси ПЦР, содержащей 5 мкл реактива qPCRmix-HS («Евроген», Россия), по 1 мкМ прямого и обратного праймеров, по 0,5 мкМ аллель-специфичных ДНК-зондов (Таблица 1) и 10 нг ДНК.

Таблица 1 - Последовательности используемых олигонуклеотидных праймеров и ДНК-зондов

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.148.1>

AGPAT6 rs 211250281	
AGPAT6-F: 5'-CCAGAAAGGCTGGAGGAGTT-3'	[10]
AGPAT6-R: 5'-ATCCCCAGAAGCACAGTTTAGT T-3'	
AGPAT6_G: 5'-FAM-CAAGAAAATGTGACGGTA-BHQ1-3'	
AGPAT6_T:5'-HEX-CAAGAAAATTTGACGGTAT-BHQ1-3'	
SCD1 rs41255693	
SCD1-F: 5'- CCCTTATGACAAGACCATCAACC-3'	[11]
SCD1-R: 5'-GACGTGGTCTTGCTGTGGACT -3'	
SCD1-T:5'-FAM- CTTACCCACAGCTCCCA-BHQ1-3'	
SCD1-C: 5'HEX-TACCCGCAGCTCCC-3- BHQ1	

ПЦР в «реальном времени» проводим с помощью прибора Bio-Rad CFX96 в оптимизированных условиях (95 °С - 10 мин.; 95 °С - 20 сек., 55 °С - 30 сек., 72 °С 20 сек., 40 циклов). Детекция флуоресценции проводилась на стадии элонгации по каналам FAM и HEX. Аллельная дискриминация оценивалась посредством программного обеспечения Bio-Rad CFX Manager.

В исследовании учитывались следующие показатели: суточный удой (кг), массовая доля жира/белка в молоке (%), содержание казеинов (%), жирнокислотный состав молока (г/100г): С14, С16, С18, С18.1, 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 MSEXcel 2013.

Основные результаты

Применение метода ПЦР в режиме реального времени позволило значительно ускорить процесс постановки анализа и упростить интерпретацию результатов реакции. Амплификация каждого аллеля чётко отображалась в

соответствующем канале детекции. Для каждого животного были идентифицированы все генотипы обоих исследуемых генов SCD1 и AGPAT6 (Таблица 2).

Таблица 2 - Частоты аллелей и генотипов генов SCD1 и AGPAT6 у голштинизированного черно-пестрого скота опытного хозяйства

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.148.2>

	Частоты генотипов			Частоты аллелей		χ^2	p-value
	ТТ	ТС	СС	Т	С		
SCD1	0,05	0,24	0,71	0,17	0,83	5,08	0,08
AGPAT6	GG	GT	ТТ	G	T	0,3	0,86
	0,28	0,51	0,21	0,54	0,46		

В рамках исследуемой выборки голштинизированных черно-пестрых коров выявлена очень низкая частота встречаемости аллеля Т (0,17) и соответственно крайне низкая частота встречаемости генотипа ТТ (0,05) SNP rs41255693 гена SCD1, с частотой гетерозигот (H_o) 0,24. Частоты встречаемости аллелей G и T SNP rs211250281 гена AGPAT6 распределялись равномерно по выборке и составили 0,54 и 0,46, соответственно, с частотой гетерозигот (H_o) 0,51. Отклонений фактического распределения частот генотипов от теоретического согласно закону Харди-Вайнберга не наблюдалось.

Особенность низкой частоты встречаемости аллеля Т SNP rs41255693 гена SCD1, рядом авторов объясняется породоспецифичностью, что соответствует ряду исследований которые показали, аналогичные результаты у голштинской породы. Так для датских голштинов разводимых в Нидерландах в 2008 г. частоты встречаемости аллеля Т и генотипа ТТ составили 0,07 и 0,27, соответственно, с частотой гетерозигот (H_o) 0,4 [12], в 2012 году для голштинов разводимых в Китае, продемонстрированы аналогичные результаты с частотами аллелей С (0,789) и Т (0,211) [13], тот же результат был получен в 2020 на польских голштинах [14]. При этом в более ранних исследованиях на польских голштинах, а также на датских были получены полностью противоположные результаты и аллель С имел низкую частоту встречаемости – 0,32 [15] и 0,27 [16]. Хотя преобладание аллеля Т у европейского скота скорее исключение, т.к. согласно многочисленным зарубежным исследованиям на разнообразных породах было показано превалирование аллеля С над Т. Так для голштинов разводимых в Европе [17], [18], [19], Азии [20] и Южной Америке [21] частоты встречаемости аллеля С варьировались в диапазоне от 0,57 до 0,65. Аналогичные результаты были получены и отечественными исследователями на первотелках голштинской породы – СС (0,384), СТ (0,457), ТТ (0,159) [22]. Высокая частота встречаемости аллеля С SNP rs41255693 гена SCD1 также показана и у других молочных пород: айширская (0,858) [23], итальянская бурая (0,82) [17], джерсейская (0,81), чилийская Фрисон Негро (0,89) и оверо колорадо (0,92) [21]. Умеренные частоты встречаемости были показаны для мясных пород скота и варьировали в диапазоне от 0,77 у герефордов до 0,52 у корейского мясного скота Hanwoo [24], [25], [26], [27]. Обратная ситуация характерна для аборигенных пород скота, что продемонстрировано в исследованиях на индонезийском аборигенном скоте, где частота аллеля Т составила 0,75 [28], а для африканских пород Borgou и White Fulani – 0,84 и 0,94 [29], соответственно. При этом в исследованиях на бразильском зебувидном скоте породы Гир, аллельный полиморфизм выявлен не был и все животные были представлены генотипом СС [30].

В промоторной области гена AGPAT6 выявлено несколько SNP: rs211250281, rs378026790, rs211036538, rs209855549 [31], но на текущий момент данных о полиморфизме данных SNP очень мало. Полученные нами частоты у голштинизированного черно-пестрого скота полностью соответствовали ранее проведенным исследованиям, а данные по другим породам показывают, что частоты колебались в диапазоне от 0,125/0,875 (айширская) до 0,463/0,537 (абердин-ангусская) для аллеля Т и G, соответственно [32].

Данные о показателях молочной продуктивности и жирнокислотном составе молока представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Среднее, минимальное и максимальное значение, коэффициент вариации показателей продуктивности и жирнокислотного состава молока

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.148.3>

Показатель	Средняя	Мин.	Макс.	C_v , %
Суточный удой	23±0,07	1	48	31,11
МДЖ%	3,96±0,01	0,59	12,05	27,63
МДБ%	3,51±0,005	2,19	6,14	13,01
Казеин	2,8±0,004	1,43	5,05	14,64
Миристиновая (C14:0)	0,4±0,001	0,12	1,17	28,41
Пальмитиновая (C16:0)	0,95±0,002	0,23	3,16	29,02
Стеариновая	0,33±0,001	0	1,21	35,07

(C18:0)				
Олеиновая (C18:1)	1,15±0,003	0,13	5,07	29,26
Длинноцепочечные (LCFA)	1,43±0,005	0	6,18	31,92
Среднецепочечные (MCFA)	1,5±0,004	0,33	4,82	28,97
Мононенасыщенные (MUFA)	1,11±0,003	0,23	5,01	28,91
Полиненасыщенные (PUFA)	0,13±0,0003	0	0,35	24,97
Насыщенные (SFA)	2,53±0,007	0,38	7,4	29,22
Короткоцепочечные (SCFA)	0,51±0,002	0,02	1,5	31,94
Трансизомеры (TFA)	0,09±0,0004	0	0,39	44,85

В жирнокислотном составе молока наибольшее распространение среди индивидуальных жирных кислот имела олеиновая кислота (C18:1), а среди групп – насыщенные жирные кислоты (SFA). Наибольшая изменчивость наблюдалась у трансизомеров жирных кислот (TFA) – 44,85%. Влияние аллельного полиморфизма изучаемых генов на молочную продуктивность и жирнокислотный состав молока представлено в таблице 4.

Таблица 4 - Показатели молочной продуктивности и жирнокислотного состава молока в зависимости от аллельного полиморфизма SNP rs41255693 гена SCD1 и SNP rs211250281 гена AGPAT6

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.148.4>

Показатель	SCD1			AGPAT6		
	CC	TC	TT	TT	GT	GG
Суточный удой	23,28 ±0,09	23,54 ±0,14	23,35 ±0,39	23,78 ±0,15	23,05 ±0,10	23,66 ±0,14
МДЖ%	3,96 ±0,01	4,04 ±0,02	3,57 ±0,04	3,86 ±0,03	3,95 ±0,02	4,07 ±0,02
МДБ%	3,52 ±0,005	3,51 ±0,009	3,48 ±0,02	3,51 ±0,01	3,50 ±0,01	3,53 ±0,01
Казеин	2,82 ±0,005	2,82 ±0,01	2,77 ±0,02	2,81 ±0,01	2,81 ±0,01	2,83 ±0,01
Миристиновая (C14:0)	0,39 ±0,001	0,41 ±0,002	0,35 ±0,004	0,39 ±0,002	0,39 ±0,002	0,40 ±0,002
Пальмитиновая (C16:0)	0,95 ±0,003	0,97 ±0,005	0,82 ±0,01	0,91 ±0,006	0,95 ±0,004	0,98 ±0,005
Стеариновая (C18:0)	0,33 ±0,001	0,33 ±0,002	0,30 ±0,005	0,31 ±0,002	0,32 ±0,002	0,34 ±0,002
Олеиновая (C18:1)	1,15 ±0,004	1,16 ±0,01	1,10 ±0,01	1,14 ±0,01	1,15 ±0,005	1,17 ±0,01
Длинноцепочечные (LCFA)	1,43 ±0,005	1,44 ±0,01	1,33 ±0,02	1,40 ±0,01	1,42 ±0,01	1,46 ±0,01
Среднецепочечные (MCFA)	1,5 ±0,01	1,53 ±0,01	1,3 ±0,02	1,45 ±0,01	1,49 ±0,02	1,54 ±0,02
Мононенасыщенные (MUFA)	1,11 ±0,004	1,12 ±0,01	1,06 ±0,01	1,09 ±0,01	1,11 ±0,005	1,13 ±0,01
Полиненасыщенные (PUFA)	0,126 ±0,0003	0,128 ±0,0006	0,127 ±0,001	0,127 ±0,001	0,126 ±0,0004	0,128 ±0,001
Насыщенные (SFA)	2,53 ±0,01	2,59 ±0,01	2,23 ±0,03	2,45 ±0,02	2,52 ±0,01	2,62 ±0,01
Короткоцепочечные (SCFA)	0,50 ±0,002	0,52 ±0,003	0,45 ±0,01	0,49 ±0,003	0,50 ±0,002	0,52 ±0,003
Транс-изомеры (TFA)	0,090 ±0,0005	0,092 ±0,001	0,097 ±0,002	0,093 ±0,001	0,09 ±0,001	0,093 ±0,001

Для SNP rs41255693 гена SCD1 имеются ряд исследований, оценивающих влияние аллельного полиморфизма на содержание жира и жирных кислот в молоке молочных пород. Так было показано, что животные с генотипом СС превосходят по содержанию жира и белка ТТ животных, с наибольшими показателями племенной ценности у гетерозигот СТ [15], [19]. В нашем исследовании были получены схожие результаты по содержанию жира ($P \leq 0,001$) и белка ($P \leq 0,001$), но достоверных различий по массовой доле белка между генотипами СС и СТ обнаружено не было.

По индивидуальным жирным кислотам рядом исследований была показана ассоциация с повышенным содержанием миристиновой (C14:0), пальмитиновой (C16:0) кислот, а для групп жирных кислот для насыщенных (SFA) и полиненасыщенных (PUFA) кислот, для генотипа ТТ, в тоже время генотип СС превосходил по содержанию мононенасыщенных (MUFA) кислот и стеариновой (C18:0) кислоты [18], [21]. Нами были получены отличающиеся результаты, по всем индивидуальным и группам жирных кислот, животные с генотипом СТ и СС превосходили ($P \leq 0,001$) животных с генотипом ТТ, за исключением PUFA, где перевес был в сторону аллеля Т: +0,001 для генотипа ТТ и +0,002 ($P \leq 0,01$) для генотипа СТ, и транс-изомеров (TFA) жирных кислот, где преобладал генотип ТТ ($P \leq 0,05$). Максимальные показатели по содержанию жирных кислот были получены для гетерозиготного генотипа СТ, что может говорить о промежуточной наследственности гена SCD1.

Несмотря на то, что открытие и исследования функций белка 1-ацилглицерол-3-фосфат О-ацилтрансфераза (AGPAT6) ведутся с 2006 года [33], данные об установлении ассоциаций нового гена с продуктивными качествами крупного рогатого скота стали появляться только последние 5-6 лет с применением GWAS-анализа. Хотя и установлено, что данный ген играет значимую роль в регуляции синтеза триацилглицеридов и жирных кислот [9], данных о влиянии полиморфизмов определенных SNP на продуктивность и содержание жирных кислот отсутствуют. Полученные нами результаты свидетельствуют о положительном влиянии аллеля G ($P \leq 0,001$) SNP rs211250281 гена AGPAT6 на содержание жира в зависимости от количества аллелей в генотипе. Исследованиями E.Viale (2017) [34], была показано влияние AGPAT6 на технологические свойства молока, а именно время свертывания под воздействием сычужного фермента, но в нашем исследовании достоверной ассоциации с содержанием белка и казеина обнаружено не было.

Влияние на содержание индивидуальных и групп жирных кислот, показало достоверную ассоциацию с аллелью G для миристиновой (C14:0) ($P \leq 0,01$), пальмитиновой (C16:0), среднецепочечных (MCFA), насыщенных (SFA) и короткоцепочечных (SCFA) ($P \leq 0,001$) жирных кислот. Стеариновой (C18:0) жирной кислоты было показано преобладание генотипа GT над ТТ ($P \leq 0,05$), но достоверных различий у олеиновой (C18:1) кислоты, а также длинноцепочечных (LCFA), мононенасыщенных (MUFA) кислот обнаружено не было, при этом образцы от животных с генотипом GG превосходили ($P \leq 0,05$) остальные генотипы по содержанию данных кислот.

Аналогично с геном SCD1 для полиненасыщенных (PUFA) и транс-изомеров (TFA) жирных кислот, были получены отличимые результаты, так минимальное содержание данных кислот было характерно для генотипа GT ($P \leq 0,001$), с отсутствием достоверных отличий у гомозиготных генотипов. Стоит отметить, что TFA получают путем биогидрогенизации в рубце коровы из PUFA, но в исследуемой выборке данные кислоты были представлены в наименьшем количестве (табл.3). Указанное дает возможность предположить, что данные кислоты больше подвержены влиянию средовых факторов, таких как тип кормления, содержание животных, а не аллельному полиморфизму.

Заключение

В нашем исследовании был изучен аллельный полиморфизм генов SCD1 и AGPAT6 и оценено влияние на молочную продуктивность и жирнокислотный состав молока голштинизированных черно-пестрых коров. Частота встречаемости аллелей С и Т для SNP rs41255693 гена SCD1 составили 0,83 и 0,17, соответственно, а для аллелей G и T SNP rs211250281 гена AGPAT6 – 0,54 и 0,46. Достоверные различия по уровню суточного удоя от генотипов получены не были. На содержание жира и жирных кислот в молоке большее влияние оказывали аллели С гена SCD1 и G гена AGPAT6. Для проведения селекционной работы желательно отбирать животных с генотипами СТ и СС гена SCD1 и гена AGPAT6 генотипы GG и GT. Использование данных о полиморфизмах изученных генов в селекционных программах и при подборе родительских пар способствует улучшению показателей продуктивности животных, а в частности повышению содержания жира в молоке. Однако для того чтобы предложенные гены могли бы использоваться как генетические маркеры хозяйственно-полезных признаков, необходимо более развёрнутое исследование на разводимых в нашей стране пород скота, особенно на отечественных генофондных породах.

Финансирование

Исследования выполнены по теме государственного задания Минобрнауки России №0445-2021-0016 (№ 121052600344-8).

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 Ministry of Education and Science of Russia №0445-2021-0016 (№ 121052600344-8).

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. Ahmadian M. Triacylglycerol Metabolism in Adi-pose Tissue / M. Ahmadian [et al.] // *Futur. Lipidol.* — 2007. — №2. — P. 229–237.
2. Jensen R.G. The Composition of Bovine Milk Lipids: January 1995 to December 2000 / R.G. Jensen // *J. Dairy Sci.* — 2002. — №85. — P.295–350.
3. Bernard L. Expression and Nutritional Regulation of Lipogenic Genes in the Ruminant Lactating Mammary Gland / L. Bernard, C. Leroux, Y. Chilliard // *Bioactive Components of Milk. Advances in Experimental Medicine and Biology.* — 2008. — Vol. 606. — P. 67–108.
4. 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 // *Livest. Sci.* — 2021. — 244. — P. 104388.
5. Bouwman A.C. Genome-wide Association of Milk Fatty Acids in Dutch Dairy Cattle / A.C. Bouwman [et al.] // *BMC Genetics.* — 2011. — 12:43.
6. Palombo V. Genome-wide Association Study of Milk Fatty Acid Composition in Italian Simmental and Italian Holstein Cows Using Single Nucleotide Polymorphism Arrays / V. Palombo [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2018. — №101. — P. 11004–11019
7. Li C. A Post-GWAS Confirming the SCD Gene Associated with Milk Medium- and Long-chain Unsaturated Fatty Acids in Chinese Holstein Population / C. Li [et al.] // *Anim. Genet.* — 2016. — №47. — P. 483–490.
8. Littlejohn M.D. Expression Variants of the Lipogenic AGPAT6 Gene Affect Diverse Milk Composition Phenotypes in *Bos Taurus* / M.D. Littlejohn [et al.] // *PLoS ONE.* — 9(1). — e85757.
9. Ma X.-y Novel Insight into the Potential Role of Acyl-glycerophosphate Acyltransferases Family Members on Triacylglycerols Synthesis in Buffalo / X.-y Ma [et al.] // *Int. J. Mol. Sci.* — 2022. — №23. — P. 6561.
10. Kovalchuk S.N. Development of Taqman PCR Assay for Genotyping SNP rs211250281 of the Bovine AGPAT6 Gene / S.N. Kovalchuk, A.L. Arkhipova // *Anim Biotechnol.* — 2022. — № 0. — P. 1–6.
11. Пат. 2744174 Российская Федерация, МПК2020114449 C12N 1/00. Способ генотипирования крупного рогатого скота по аллелям 878 СТ гена SCD1 (rs41255693) методом ПЦР в режиме реального времени / Ковальчук С. Н.; — № 2020114449; заявл. 2020-04-13; опубл. 2021-03-03. — 8 с.
12. Schennin. Milk Fatty Acid Unsaturation: Genetic Parameters and Effects of Stearoyl-CoA Desaturase (SCD1) and Acyl CoA: Diacylglycerol Acyltransferase 1 (DGAT1) / Schennink [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2008. — №91. — P.2135–2143
13. 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 [et al.] // *Mol Biol Rep.* — 2012. — №39. — P.1065–1071
14. 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 / Marzena M. Kesek-Wozniak [et al.] // *Animals.* — 2020. — № 10. — P.997
15. Kulig H. SCD1 Polymorphism and Breeding Value for Milk Production Traits in Cows / H. Kulig [et al.] // *Bulg. J. Agric. Sci.* — 2016. — №22. — P. 131–134
16. Demete R. M. Effects of Milk Fat Composition, DGAT1, and SCD1 on Fertility Traits in Dutch Holstein Cattle / R. M. Demeter [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2009. — №92. — P.5720–5729
17. 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 [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2010. — №93. — P.753–763
18. Samková 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.Samková [et al.] // *Animals.* — 2021. — №11. — P.3284
19. Čítek J. Gene Polymorphisms Influencing Yield, Composition and Technological Properties of Milk from Czech Simmental and Holstein Cows / Jindřich Čítek [et al.] // *Anim Biosci.* — 2021. — Vol. 34, No. 1. — P. 2–11
20. Asadollahpour Nanaei H. Effect of LEPR, ABCG2 and SCD1 Gene Polymorphisms on Reproductive Traits in the Iranian Holstein Cattle / H Asadollahpour Nanaei [et al.] // *Reprod Dom Anim.* — 2014. — №49. — P.769–774
21. 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 [et al.] // *Genetics and Molecular Research.* — 2015. — №15(2). — gmr.15027057
22. Сафина Н.Ю. Мониторинг полиморфных вариантов гена Стеарил-КОА десатуразы (SCD1) крупного рогатого скота в зависимости от направления продуктивности / Н.Ю. Сафина // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана.* — 2018. — Т. 233. — №1. — С. 136–140
23. Позовникова М.В. Связь полиморфных вариантов гена Стеароил-КоА-Десатураза (SCD1) с хозяйственно ценными признаками в российской популяции коров айширской породы / М.В. Позовникова [и др.] // *Сельскохозяйственная биология.* — 2017. — Том 52. — №6. — С. 1139–1147
24. Li X. Association of Polymorphisms at DGAT1, lep-tin, SCD1, CAPN1 and CAST Genes with Color, Marbling and Water Holding Capacity in Meat from Beef Cattle Populations in Sweden / Xin Li [et al.] // *Meat Science.* — 2013. — №94. — P.153–158
25. Avilés C. Associations between DGAT1, FABP4, LEP, RORC, and SCD1 Gene Polymorphisms and Fat Deposition in Spanish Commercial Beef / C. Avilés [et al.] // *J ANIM SCI.* — 2013. — №91. — P.4571–4577
26. Kawaguchi F. Effect of DNA Markers on the Fertility Traits of Japanese Black Cattle for Improving Beef Quantity and Quality / F. Kawaguchi [et al.] // *Arch. Anim. Breed.* — 2020. — №63. — P.9–17.
27. Seok-Hyeon Beak. Study on the Fatty Acid Profile of Phospholipid and Neutral Lipid in Hanwoo Beef and Their Relationship to Genetic Variation / Seok-Hyeon Beak [et al.] // *Journal of Animal Science and Technology.* — 2019. — №61(2). — P.69–76

28. Hilmia N. Polymorphism of Stearoyl-CoA Desaturase (SCD1) Gene in Indonesian Local Cattle / N. Hilmia [et al.] // *J. Indonesian Trop. Anim. Agric.* — 2017. — №42(1). — P.1-5
29. Houaga. Milk Fatty Acid Variability and Association with Polymorphisms in SCD1 and DGAT1 Genes in White Fulani and Borgou Cattle Breeds / Houaga [et al.] // *Molecular Biology Reports.* — 2018. — №45. — P.1849–1862
30. Matosinho C.G.R. Phenotypic Variation in Milk Fatty Acid Composition and its Association with Stearoyl-CoA Desaturase 1 (SCD1) Gene Polymorphisms in Gir Cows / C.G.R. Matosinho [et al.] // *J Anim Breed Genet.* — 2023. — №00. — P.1–17.
31. Frischknecht M. Highly Accurate Sequence Imputation Enables Precise QTL Mapping in Brown Swiss Cattle / M. Frischknecht [et al.] // *BMC Genomics.* — 2017. — №18. — P.999
32. Архипова А.Л. Оценка частоты встречаемости SNP rs211250281 гена AGPAT6 у пород крупного рогатого скота / А.Л. Архипова, С.Н. Ковальчук // *Проблемы биологии продуктивных животных.* — 2022. — №2. — С.27-33
33. Beigneux A.P. Agpat6 – a Novel Lipid Biosynthetic Gene Required for Triacylglycerol Production in Mammary Epithelium / A.P. Beigneux [et al.] // *J Lipid Res.* — 2006. — №47. — P.734–44.
34. Viale E. Association of Candidate Gene Polymorphisms with Milk Technological Traits, Yield, Composition, and Somatic Cell Score in Italian Holstein-Friesian Sires / E. Viale [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2017. — №100. — P.1–11

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ahmadian M. Triacylglycerol Metabolism in Adi-POSE Tissue / M. Ahmadian [et al.] // *Futur. Lipidol.* — 2007. — №2. — P. 229–237.
2. Jensen R.G. The Composition of Bovine Milk Lipids: January 1995 to December 2000 / R.G. Jensen // *J. Dairy Sci.* — 2002. — №85. — P.295–350.
3. Bernard L. Expression and Nutritional Regulation of Lipogenic Genes in the Ruminant Lactating Mammary Gland / L. Bernard, C. Leroux, Y. Chilliard // *Bioactive Components of Milk. Advances in Experimental Medicine and Biology.* — 2008. — Vol. 606. — P. 67–108.
4. 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 // *Livest. Sci.* — 2021. — 244. — P. 104388.
5. Bouwman A.C. Genome-wide Association of Milk Fatty Acids in Dutch Dairy Cattle / A.C. Bouwman [et al.] // *BMC Genetics.* — 2011. — 12:43.
6. Palombo V. Genome-wide Association Study of Milk Fatty Acid Composition in Italian Simmental and Italian Holstein Cows Using Single Nucleotide Polymorphism Arrays / V. Palombo [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2018. — №101. — P. 11004–11019
7. Li C. A Post-GWAS Confirming the SCD Gene Associated with Milk Medium- and Long-chain Unsaturated Fatty Acids in Chinese Holstein Population / C. Li [et al.] // *Anim. Genet.* — 2016. — №47. — P. 483–490.
8. Littlejohn M.D. Expression Variants of the Lipogenic AGPAT6 Gene Affect Diverse Milk Composition Phenotypes in *Bos Taurus* / M.D. Littlejohn [et al.] // *PLoS ONE.* — 9(1). — e85757.
9. Ma X.-y. Novel Insight into the Potential Role of Acyl-glycerophosphate Acyltransferases Family Members on Triacylglycerols Synthesis in Buffalo / X.-y. Ma [et al.] // *Int. J. Mol. Sci.* — 2022. — №23. — P. 6561.
10. Kovalchuk S.N. Development of Taqman PCR Assay for Genotyping SNP rs211250281 of the Bovine AGPAT6 Gene / S.N. Kovalchuk, A.L. Arkhipova // *Anim Biotechnol.* — 2022. — № 0. — P. 1-6.
11. Pat. 2744174 Russian Federation, MPK2020114449 C12N 1/00. Sposob genotipirovaniya krupnogo rogatogo skota po alleljam 878 ST gena SCD1 (rs41255693) metodom PTsR v rezhime real'nogo vremeni [Method of Cattle Genotyping by Alleles 878 from the SCD 1 Gene (rs41255693) by Real-time PCR] / Koval'chuk S. N.; — № 2020114449; appl. 2020-04-13; publ. 2021-03-03. — 8 p. [in Russian]
12. Schennin. Milk Fatty Acid Unsaturation: Genetic Parameters and Effects of Stearoyl-CoA Desaturase (SCD1) and Acyl CoA: Diacylglycerol Acyltransferase 1 (DGAT1) / Schennink [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2008. — №91. — P.2135–2143
13. 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 [et al.] // *Mol Biol Rep.* — 2012. — №39. — P.1065–1071
14. 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 / Marzena M. Kesek-Wozniak [et al.] // *Animals.* — 2020. — № 10. — P.997
15. Kulig H. SCD1 Polymorphism and Breeding Value for Milk Production Traits in Cows / H. Kulig [et al.] // *Bulg. J. Agric. Sci.* — 2016. — №22. — P. 131–134
16. Demeter R. M. Effects of Milk Fat Composition, DGAT1, and SCD1 on Fertility Traits in Dutch Holstein Cattle / R. M. Demeter [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2009. — №92. — P.5720–5729
17. 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 [et al.] // *J. Dairy Sci.* — 2010. — №93. — P.753–763
18. Samková 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. Samková [et al.] // *Animals.* — 2021. — №11. — P.3284
19. Čítek J. Gene Polymorphisms Influencing Yield, Composition and Technological Properties of Milk from Czech Simmental and Holstein Cows / Jindřich Čítek [et al.] // *Anim Biosci.* — 2021. — Vol. 34, No. 1. — P. 2-11
20. Asadollahpour Nanaei H. Effect of LEPR, ABCG2 and SCD1 Gene Polymorphisms on Reproductive Traits in the Iranian Holstein Cattle / H Asadollahpour Nanaei [et al.] // *Reprod Dom Anim.* — 2014. — №49. — P.769–774
21. 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 [et al.] // *Genetics and Molecular Research.* — 2015. — №15(2). — gmr.15027057

22. Safina N.Yu. Monitoring polimorfnyh variantov gena Stearyl-KOA desaturazy (SCD1) krupnogo rogatogo skota v zavisimosti ot napravlenija produktivnosti [Monitoring of Polymorphic Variants of the Stearyl-COA Desaturase (SCD1) Gene in Cattle Depending on the Direction of Productivity] / N.Yu. Safina // Uchenye zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny im. N.Je. Baumana [Scientific Notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman]. — 2018. — Vol. 233. — No. 1. — pp. 136-140. [in Russian]
23. Pazovnikova M.V. Svjaz' polimorfnyh variantov gena Stearoyl-KoA-Desaturaza (SCD1) s hozjajstvenno cennymi priznakami v rossijskoj populjacii korov ajshirskoj porody [Connection of Polymorphic Variants of the Stearoyl-CoA-Desaturase Gene (SCD 1) with Economically Valuable Traits in the Russian Population of Ayshir Cows] / M.V. Pozovnikova [et al.] // Sel'skohozjajstvennaja biologij [Agricultural Biology]. — 2017. — Volume 52. — No. 6. — pp. 1139-1147. [in Russian]
24. Li X. Association of Polymorphisms at DGAT1, lep-tin, SCD1, CAPN1 and CAST Genes with Color, Marbling and Water Holding Capacity in Meat from Beef Cattle Populations in Sweden / Xin Li [et al.] // Meat Science. — 2013. — №94. — P.153–158
25. Avilés C. Associations between DGAT1, FABP4, LEP, RORC, and SCD1 Gene Polymorphisms and Fat Deposition in Spanish Commercial Beef / C. Avilés [et al.] // J ANIM SCI. — 2013. — №91. — P.4571-4577
26. Kawaguchi F. Effect of DNA Markers on the Fertility Traits of Japanese Black Cattle for Improving Beef Quantity and Quality / F. Kawaguchi [et al.] // Arch. Anim. Breed. — 2020. — №63. — P.9–17.
27. Seok-Hyeon Beak. Study on the Fatty Acid Profile of Phospholipid and Neutral Lipid in Hanwoo Beef and Their Relationship to Genetic Variation / Seok-Hyeon Beak [et al.] // Journal of Animal Science and Technology. — 2019. — №61(2). — P.69-76
28. Hilmia N. Polymorphism of Stearoyl-CoA Desaturase (SCD1) Gene in Indonesian Local Cattle / N. Hilmia [et al.] // J.Indonesian Trop.Anim.Agric. — 2017. — №42(1). — P.1-5
29. Houaga. Milk Fatty Acid Variability and Association with Polymorphisms in SCD1 and DGAT1 Genes in White Fulani and Borgou Cattle Breeds / Houaga [et al.] // Molecular Biology Reports. — 2018. — №45. — P.1849–1862
30. Matosinho C.G.R. Phenotypic Variation in Milk Fatty Acid Composition and its Association with Stearoyl-CoA Desaturase 1 (SCD1) Gene Polymorphisms in Gir Cows / C.G.R. Matosinho [et al.] // J Anim Breed Genet. — 2023. — №00. — P.1–17.
31. Frischknecht M. Highly Accurate Sequence Imputation Enables Precise QTL Mapping in Brown Swiss Cattle / M. Frischknecht [et al.] // BMC Genomics. — 2017. — №18. — P.999
32. Arkhipova A.L. Ocenka chastoty vstrechaemosti SNP rs211250281 gena AGPAT6 u porod krupnogo rogatogo skota [Estimation of the Frequency of Occurrence of SNP rs211250281 of the AGPAT6 Gene in Cattle Breeds] / A.L. Arkhipova, S.N. Kovalchuk // Problemy biologii produktivnyh zhivotnyh [Problems of Biology of Productive Animals]. — 2022. — No.2. — p.27-33. [in Russian]
33. Beigneux A.P. Agpat6 – a Novel Lipid Biosynthetic Gene Required for Triacylglycerol Production in Mammary Epithelium / A.P. Beigneux [et al.] // J Lipid Res. — 2006. — №47. — P.734–44.
34. Viale E. Association of Candidate Gene Polymorphisms with Milk Technological Traits, Yield, Composition, and Somatic Cell Score in Italian Holstein-Friesian Sires / E. Viale [et al.] // J. Dairy Sci. — 2017. — №100. — P.1–11