

sredstva dlya sanacii pola pri vyrashchivanii sel'skohozyajstvennoj pticy myasnogo napravleniya produktivnosti / E.A. Kapitonova // Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya "Vitebskaya ordena "Znak Pocheta" gosudarstvennaya akademiya veterinarnoj mediciny". – 2021. – Т. 57, вып. 3. – S. 90-94. - DOI 10.52368/2078-0109-2021-57-3-90-94. 8. Povyshenie effektivnosti pticevodstva za schet uluchsheniya sanitarnogo kachestva kombikorma adsorbentami mikotoksinov / I.I. Kochish [i dr.]. // Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya "Vitebskaya ordena "Znak Pocheta" gosudarstvennaya akademiya veterinarnoj mediciny". – 2021. – Т. 57, вып. 3. – S. 99-104. - DOI 10.52368/2078-0109-2021-57-3-99-104.

Поступила в редакцию 11.10.2022.

DOI 10.52368/2078-0109-2023-59-1-62-70
УДК 636.2.082.2:636.034(476)

АССОЦИАЦИЯ КОМПЛЕКСА ПОЛИМОРФНЫХ ВАРИАНТОВ ГЕНОВ *DGAT1*, *GH*, *PRL* И *BLG* С ПОКАЗАТЕЛЯМИ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ КОРОВ БЕЛОРУССКОЙ ЧЕРНО-ПЕСТРОЙ ПОРОДЫ

Михалюк А.Н. ORCID 0000-0001-6110-264X, Танана Л.А. ORCID 0000-0002-0631-6116
УО «Гродненский государственный аграрный университет», г. Гродно, Республика Беларусь

При оценке ассоциированного влияния комплексных генотипов генов диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (*DGAT1*), соматотропина (*GH*), пролактина (*PRL*) и бета-лактоглобулина (*BLG*) на показатели молочной продуктивности коров белорусской черно-пестрой породы установлено, что наиболее высокие показатели молочной продуктивности имели животные с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AB}$. **Ключевые слова:** крупный рогатый скот, комплексные генотипы, гены диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (*DGAT1*), соматотропина (*GH*), пролактина (*PRL*) и бета-лактоглобулина (*BLG*), молочная продуктивность.

ASSOCIATION OF A COMPLEX OF POLYMORPHIC VARIANTS OF THE *DGAT1*, *GH*, *PRL* AND *BLG* GENES WITH INDICATORS OF DAIRY PRODUCTIVITY OF BELARUSIAN BLACK-AND-WHITE COWS

Mikhaljuk A.N., Tanana L.A.
EE "Grodno State Agricultural University", Grodno, Republic of Belarus

When assessing the associated effect of complex genotypes of diacylglycerol O-acyl transferase 1 (*DGAT1*), somatotropin (*GH*), prolactin (*PRL*) and beta-lactoglobulin (*BLG*) genes on the indicators of dairy productivity of cows of the Belarusian black-and-white breed, it was found that animals with the complex genotype $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AB}$ had the highest indicators of dairy productivity. **Keywords:** cattle, complex genotypes, genes of diacylglycerol O-acyl transferase 1 (*DGAT1*), somatotropin (*GH*), prolactin (*PRL*) and beta-lactoglobulin (*BLG*), milk productivity.

Введение. Для повышения эффективности селекционного процесса по основным хозяйственно полезным признакам многие ученые предлагают использовать маркирование одного признака не по одному, а по нескольким генам, что позволяет повысить уровень молочной продуктивности сельскохозяйственных животных [6, 7]. Вместе с тем во многих доступных нам научных работах комплексное влияние генов на хозяйственно полезные признаки крупного рогатого скота не рассматривалось. Ученые высказали мнение, что: «малое количество коров с редкими генотипами в стаде не позволяет делать категоричных выводов о характере их взаимосвязи с показателями молочной продуктивности и требует дальнейших исследований» [1].

Целью данной работы явилось исследование полиморфизма генов и оценка ассоциированного влияния комплексных генотипов генов диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (*DGAT1*), соматотропина (*GH*), пролактина (*PRL*), бета-лактоглобулина (*BLG*) на показатели молочной продуктивности коров белорусской черно-пестрой породы. Оценка ассоциированного влияния комбинации генотипов исследуемых генов проводилась по трем лактациям коров.

Материалы и методы исследований. Для исследования использовали биологический материал (ушной выщип) от коров белорусской черно-пестрой породы в количестве 105. Для оценки аллелофонда коров белорусской черно-пестрой породы служили данные продуктивности исследуемых животных по трем лактациям, полученные из УСП «Новый Двор-Агро» Свислочского района Гродненской области.

ДНК-генотипирование животных по генам диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (*DGAT1*), соматотропина (*GH*), пролактина (*PRL*) и бета-лактоглобулина (*BLG*) проводили с использованием метода полимеразной цепной реакции (ПЦР) и полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (ПДРФ). Ядерную ДНК выделяли перхлоратным методом. Основные растворы для выделения ДНК готовили по Т. Маниатису, Э. Фрич, Дж.Сэмбруку [2], а для амплификации и рестрикции использовали растворы производства ОДО «Праймтех», Беларусь.

В таблице 1 приведен состав реакционной смеси для проведения амплификации исследуемых локусов генов диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (*DGAT1*), соматотропина (*GH*), пролактина (*PRL*) и бета-лактоглобулина (*BLG*).

Таблица 1 – Состав реакционной смеси для проведения амплификации исследуемых локусов генов диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (*DGAT1*), соматотропина (*GH*), пролактина (*PRL*) и бета-лактоглобулина (*BLG*)

Компоненты	Количество реагентов на 1 пробу
1 x Таq-буфер	1 x
50 мМ MgCl ₂	2-5 мМ
Смесь дНТФ	2-4 мМ
Праймер 1	10-25 пМ
Праймер 2	10-25 пМ
Таq-полимераза 2500 ед, Евроген,РК113L	0,5-1,5 е.а.
ДНК	200-250 нг/мкл
H ₂ O	доводим до 25 мкл

Для амплификации участка гена *DGAT1* использовали праймеры [10]:

DGAT1 1: 5' CAC CAT CCT CTT CCT CAA GC 3'

DGAT1 2: 5' ATG CGG GAG TAG TCC ATG TC 3'

Условия проведения ПЦР *DGAT1*: 94°C, 5 мин.; 30 циклов – 94°C, 30 с.; 59°C, 40 с.; 72°C, 40 с.; достройка или финальная элонгация – 72°C, 7 мин. Наличие ПЦР-фрагмента оценивали электрофоретическим методом в 2% агарозном геле при напряжении 120 W, 50-60 мин. Длина амплифицированного фрагмента гена *DGAT1* составила 411 п.н. Для рестрикции амплифицированного локуса гена *DGAT1* применяли эндонуклеазу Aco I. Реакцию проводили при температуре 37°C. Продукты рестрикции генов разделяли электрофоретически в 3% агарозном геле при напряжении 130 W, 50-60 мин., в 1×TBE буфере. Визуализацию фрагментов проводили при УФ-свете на системе гельдокументирования Gel Doc RX+(BIORAD) с использованием бромистого этидия. При расщеплении продуктов амплификации гена *DGAT1* идентифицировался генотип: *DGAT1*^{KK} – фрагмент 411 п.н. (рисунок 1).

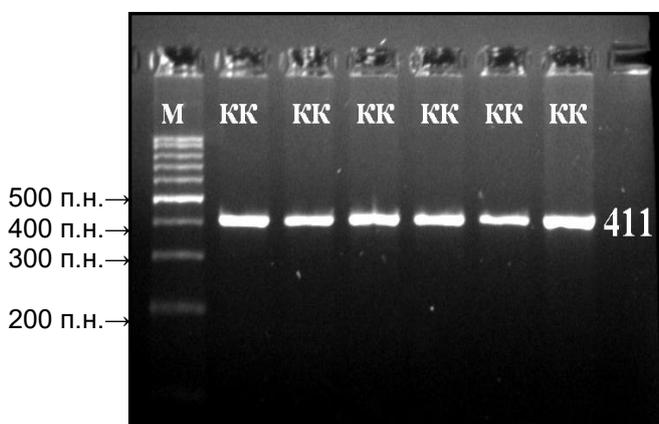


Рисунок 1 – Электрофореграмма рестрикционного анализа гена *DGAT1*

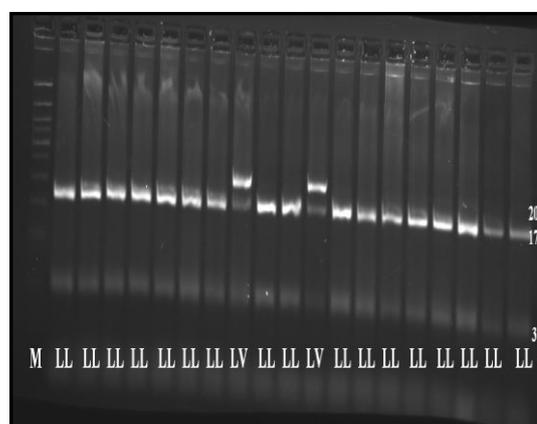


Рисунок 2 – Электрофореграмма рестрикционного анализа гена *GH*

Обозначения: М – маркер молекулярного веса 200 – 500 п.н. (ОДО «Праймтех», Беларусь).

Для амплификации участка гена *GH* использовали праймеры [9]:

GH 1: 5' CCG TGT СТА TGA GAA GC 3'

GH 2: 5' GTT CTT GAG CAG CGC GT 3'

Условия проведения ПЦР *GH*: 94°C, 4 мин.; 35 циклов – 94°C, 45 с.; 65°C, 45 с.; 72°C, 45 с.; достройка или финальная элонгация – 72°C, 7 мин. Наличие ПЦР-фрагмента оценивали электрофоретическим методом в 2% агарозном геле при напряжении 120 W, 50-60 мин. Длина амплифицированного фрагмента гена *GH* составила 223 п.н. Для рестрикции амплифицированного участка гена *GH* применяли эндонуклеазу AluI. Реакцию проводили при температуре 37°C. Продукты рестрикции генов разделяли электрофоретически в 3% агарозном геле при напряжении 130 W, 50-60 мин., в 1×TBE буфере. Визуализацию фрагментов проводили при УФ-свете на системе гельдокументирования Gel Doc RX+(BIORAD) с использованием бромистого этидия. При расщеплении продуктов амплификации по гену *GH* идентифицировались генотипы: *GH*^{LL} – 208 п.н.; *GH*^{LV} – 208/172/35 п.н.; *GH*^{VV} – 172/35 п.н. (рисунок 2).

Для амплификации участка гена *BLG* использовали праймеры [8]:

BLG 1: 5' TGT GCT GGA CAC CGA CTA CAA AAA G 3'

BLG 2: 5' GCT CCC GGT ATA TGA CCA CCC TCT 3'

Условия проведения ПЦР *BLG*: 94°C, 5 мин.; 30 циклов – 94°C, 30 сек.; 59°C, 40 сек; 72°C, 20 сек; элонгация – 72°C, 3 мин. Наличие ПЦР-фрагмента оценивали электрофоретическим методом в 2% агарозном геле при напряжении 120 W, 50-60 мин. Длина фрагмента гена *BLG* – 247 п.н. Для рестрикции амплифицированного участка гена *BLG* применяли эндонуклеазу *BsuRI* (*Hae* III). Реакцию проводили при температуре 37°C.

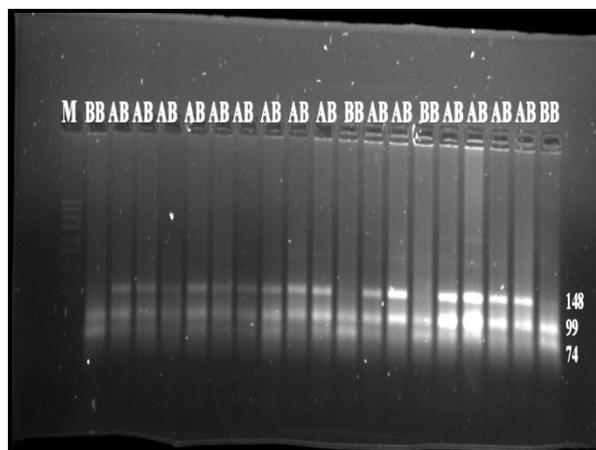


Рисунок 3 - Электрофореграмма рестриционного анализа гена *BLG*

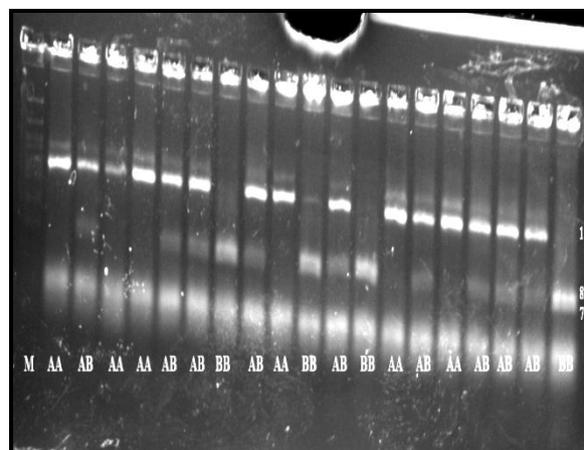


Рисунок 4 - Электрофореграмма рестриционного анализа гена *PRL*

Продукты рестрикции генов разделяли электрофоретически в 3% агарозном геле при напряжении 130 В, 50-60 мин., в 1×TBE буфере. Визуализацию фрагментов проводили при УФ-свете на системе гелъдокументирования Gel Doc RX+(BIO RAD) с использованием бромистого этидия. При расщеплении продуктов амплификации по гену *BLG* идентифицируются следующие генотипы: *BLG*^{AA} – фрагменты 148/99 п.н.; *BLG*^{AB} – фрагменты 148/99/74 п.н.; *BLG*^{BB} – фрагменты 99/74 п.н. (рисунок 3).

Для амплификации участка гена *PRL* использовали праймеры [11]:

PRL 1: 5' CGA GTC CTT ATG AGC TTG ATT CTT 3'

PRL 2: 5' GCC TTC CAG AAG TCG TTT GTT TTC 3'

Условия проведения ПЦР *PRL*: 94°C, 4 мин.; 35 циклов – 94°C, 45 с.; 65°C, 45 с.; 72°C, 45 с.; элонгация – 72°C, 7 мин. Наличие ПЦР-фрагмента оценивали электрофоретическим методом в 2% агарозном геле при напряжении 120 W, 50-60 мин. Длина амплифицированного фрагмента гена *PRL* – 156 п.н. Для рестрикции амплифицированного участка гена *PRL* применяли эндонуклеазу *Rsa* I. Реакцию проводили при температуре 37°C. Продукты рестрикции генов разделяли электрофоретически в 3% агарозном геле при напряжении 130 W, 50-60 мин, в 1×TBE буфере. Визуализацию фрагментов проводили при УФ-свете на системе гелъдокументирования Gel Doc RX+(BIO RAD) с использованием бромистого этидия. При расщеплении продуктов амплификации по гену *PRL* идентифицируются следующие генотипы: *PRL*^{AA} – длиной 156 п.н.; *PRL*^{AB} – 156/82/74 п.н.; *PRL*^{BB} – 82/74 п.н. (рисунок 4).

Частота встречаемости аллелей по генам диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (*DGAT*1), пролактина (*PRL*), бета-лактоглобулина (*BLG*) и соматотропина (*GH*) рассчитана по формулам по Е.К. Меркурьевой [3]. Для оценки генетического равновесия в популяции по изучаемым генам определяли критерий хи-квадрат (χ^2), или критерий Пирсона [4].

Для изучения молочной продуктивности подопытные животные белорусской черно-пестрой породы были сгруппированы в зависимости от возраста: первотелки, коровы второго и третьего отелов. Молочную продуктивность коров определяли по результатам контрольных доений. В статистическую обработку включали показатели животных, продолжительность лактации у которых была не менее 240 дней. У животных с различными генотипами по изучаемым генам учитывали удой, массовую долю жира и белка, выход молочного жира и белка за 305 дней лактации или укороченную лактацию.

Селекционно-генетические параметры основных хозяйственно-полезных признаков определяли методами биологической статистики в описании Н.А. Плохинского [5], используя при этом компьютерную программу Microsoft Excel. Достоверными считались различия при уровне значимости: * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$.

Результаты исследований. Характеристика генофонда крупного рогатого скота по полиморфизму генов, связанных с показателями молочной продуктивности животных, имеет большое значение для создания стад с более высокими качественными показателями молока. В таблице 2 приведена генетическая структура коров белорусской черно-пестрой породы по генам диацилглицерол О-

ацил трансферазы 1 (DGAT1), соматотропина (GH), пролактина (PRL), бета-лактоглобулина (BLG).

Таблица 2 - Генетическая структура коров белорусской черно-пестрой породы генов DGAT1, GH, PRL и BLG (n=105)

Ген	Частота встречаемости								Критерий χ^2
	фактическая				ожидаемая				
	аллелей		генотипов, %		генотипов, %		генотипов, %		
DGAT1	A	K	KK	AK	AA	KK	AK	AA	-
	-	1,0	100,0	-	-	100,0	-	-	
GH	L	V	LL	LV	VV	LL	LV	VV	0,1096
	0,848	0,152	71,0	27,0	2,0	72,0	26,0	2,0	
PRL	A	B	AA	AB	BB	AA	AB	BB	0,2267
	0,786	0,214	61,0	35,0	4,0	62,0	34,0	4,0	
BLG	A	B	AA	AB	BB	AA	AB	BB	25,9944
	0,614	0,386	24,0	49,0	27,0	38,0	47,0	15,0	

Изучение генетической структуры коров белорусской черно-пестрой породы по гену диацилглицерол-О-ацилтрансферазы 1 (DGAT1) показало, что все животные имели лишь один генотип – DGAT1^{KK} т.е. по данному гену отсутствовал полиморфизм. В исследованиях был установлен полиморфизм гена соматотропина (GH), представленный двумя аллелями – GH^L и GH^V, при этом идентифицировано три генотипа GH^{LL}, GH^{LV} и GH^{VV}. Среди исследуемых коров чаще встречались особи с генотипом GH^{LL} – 71%, с генотипом GH^{LV} – 27%, а с генотипом GH^{VV} – 2% животных.

По результатам исследований установлен полиморфизм гена пролактина (PRL), представленный двумя аллелями – PRL^A и PRL^B, при этом идентифицировано три генотипа PRL^{AA}, PRL^{AB} и PRL^{BB}. Среди опытных животных чаще встречались особи с генотипом PRL^{AA} – 61%, с генотипом PRL^{AB} – 35%, а с генотипом PRL^{BB} – 4% особей соответственно. Что касается гена бета-лактоглобулина (BLG), то также установлен его полиморфизм. Он представлен двумя аллелями – BLG^A и BLG^B, при этом было идентифицировано три генотипа: два гомозиготных – AA и BB, гетерозиготный – AB. Частота встречаемости особей с генотипом BLG^{AB} составила 49%, с генотипом BLG^{AA} – 24%, а с генотипом BLG^{BB} – 27% соответственно. Анализ ожидаемой частоты встречаемости генотипов свидетельствует о значительных отклонениях показателей от фактических значений и может указывать на нарушение генетического равновесия, что подтверждается критерием хи-квадрат (χ^2). Подобное давление на ген может трактоваться как усиленная селекционная работа в направлении повышения молочной продуктивности животных, в частности, удоя. Анализ критерия хи-квадрат (χ^2) по генам соматотропина (GH) и пролактина (PRL) не обнаружил нарушения генетического равновесия в изучаемой популяции коров.

Соотношение первотелок белорусской черно-пестрой породы с выявленными комбинациями генотипов генов диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (DGAT1), соматотропина (GH), пролактина (PRL) и бета-лактоглобулина (BLG) представлено на рисунке 5.

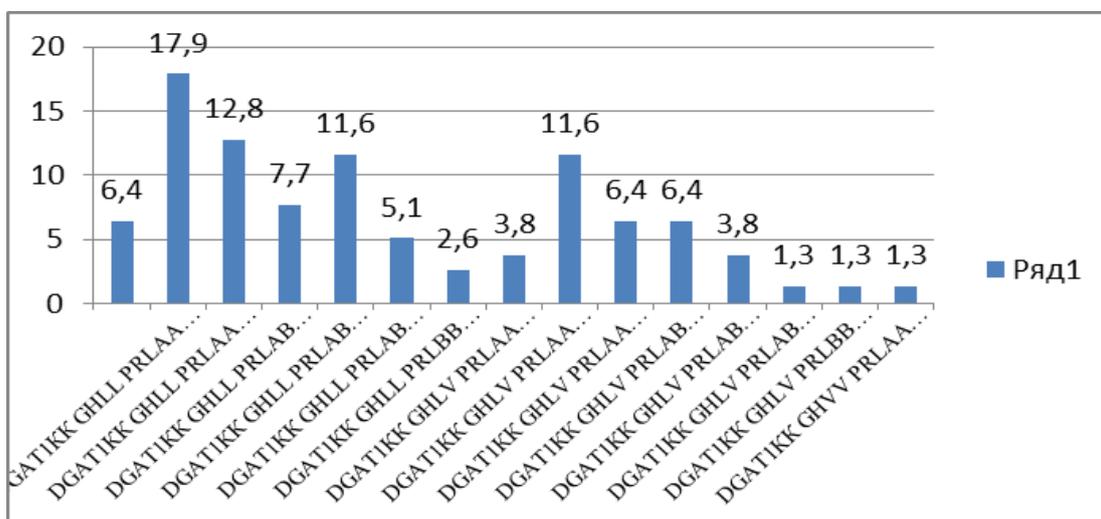


Рисунок 5 – Соотношение первотелок белорусской черно-пестрой породы с выявленными комбинациями генотипов генов диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (DGAT1), соматотропина (GH), пролактина (PRL) и бета-лактоглобулина (BLG)

Из представленных на рисунке 5 данных видно, что всего было выявлено 15 комплексных генотипов из 27 возможных комбинаций. Из всех протестированных первотелок наибольшее количество животных имело комплексный генотип $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AB}$ – 17,9% (14 голов). Так, 12,8% первотелок, или 10 голов имели генотип $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{BB}$, по 9 голов, или по 11,6% животных имели комплексные генотипы $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AB}$ и $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{AB}$ соответственно, 6 животных, или 7,7% имели комплексный генотип $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AA}$, еще по 5 первотелок, или по 6,4% животных имели комплексные генотипы $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AA}$, $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{BB}$ и $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AB}BLG^{AA}$ соответственно, по 3 головы, или по 3,8% первотелок имели генотипы $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{AA}$ и $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AB}BLG^{AB}$, а комплексные генотипы $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AB}BLG^{BB}$, $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{BB}BLG^{AA}$ и $DGAT1^{KK}GH^{VV}PRL^{AA}BLG^{AB}$ имели еще по 1 животному.

Соотношение коров белорусской черно-пестрой породы второй лактации с выявленными комбинациями генотипов генов диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (DGAT1), соматотропина (GH), пролактина (PRL) и бета-лактоглобулина (BLG) представлено на рисунке 6.

Представленные на рисунке 6 данные свидетельствуют о том, что всего было выявлено 13 генотипов из 27 возможных комбинаций. Так же как и в случае с первотелками, наибольшее количество из всех протестированных животных имели комплексный генотип $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AB}$ – 20,3% (12 голов). При этом другие комплексные генотипы были распределены следующим образом: по 8 голов (или по 13,5%) животных имели комплексные генотипы $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{BB}$ и $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AB}$ соответственно, еще по 6 голов (по 10,2%) животных имели генотипы $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AA}$ и $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{AB}$, 5 коров, или 8,5% имели комплексный генотип $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AA}$, 6,8% животных, или 4 головы имели комплексный генотип $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AB}BLG^{AA}$, по 3 головы (по 5,1%) имели комплексные генотипы $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{BB}$ и $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{BB}$, а комплексные генотипы $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{BB}BLG^{AA}$, $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{AA}$, $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AB}BLG^{AB}$ и $DGAT1^{KK}GH^{VV}PRL^{AA}BLG^{AB}$ имели по 1 животному.

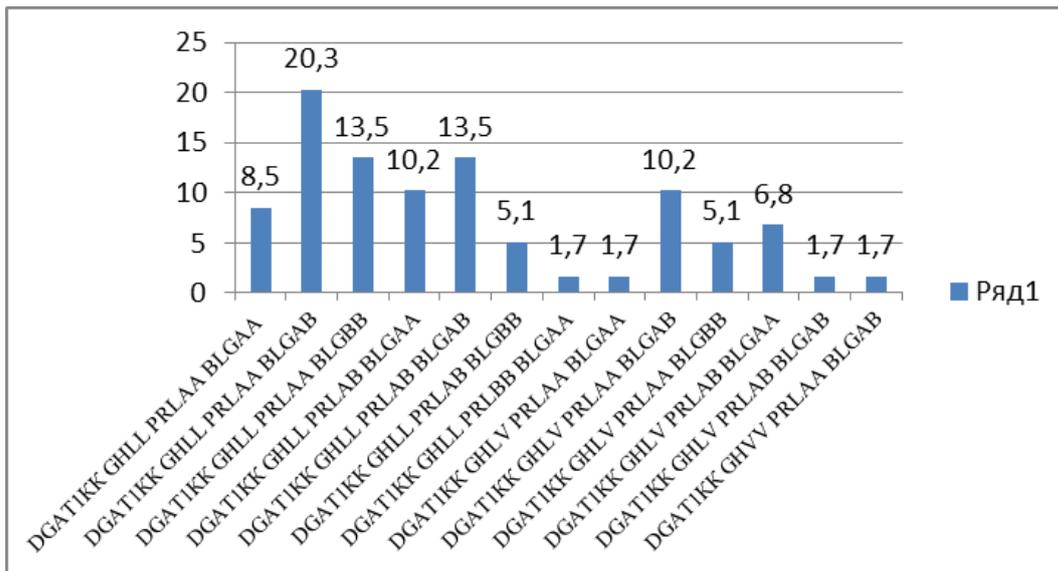


Рисунок 6 – Соотношение коров белорусской черно-пестрой породы второй лактации с выявленными комбинациями генотипов генов диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (DGAT1), соматотропина (GH), пролактина (PRL) и бета-лактоглобулина (BLG)

Соотношение коров белорусской черно-пестрой породы третьей лактации с выявленными комбинациями генотипов генов диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (DGAT1), соматотропина (GH), пролактина (PRL) и бета-лактоглобулина (BLG) представлено на рисунке 7. Анализ данных, представленных на рисунке 7, свидетельствует о том, что общее количество выявленных генотипов – 12. Так же как и у первотелок и коров второй лактации, наибольшее количество из всех протестированных коров третьей лактации имели комплексный генотип $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AB}$ – 23,8% (10 голов), в том числе 16,6% животных, или 7 голов имели комплексный генотип $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AB}$, 6 коров, или 14,3% животных имели комплексный генотип $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{BB}$, по 4 головы, или по 9,5% коров имели комплексные генотипы $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AA}$ и $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{AB}$ соответственно, 3 коровы, или 7,1% животных имели комплексный генотип $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AA}$, еще по 2 головы, или по 4,8% животных имели комплексные генотипы $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{BB}$ и

DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AB}BLG^{AA}, комплексные генотипы DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{BB}BLG^{AA}, DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{BB}BLG^{AB}, DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{AA} и DGAT1^{KK}GH^{VV}PRL^{AA}BLG^{AB} соответственно были представлены 1 животным.

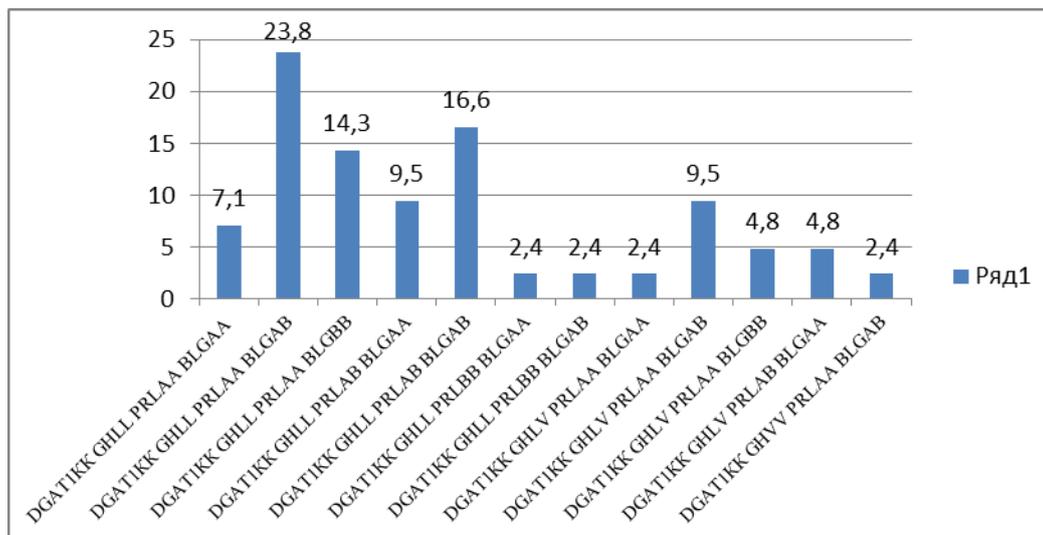


Рисунок 7 – Соотношение коров белорусской черно-пестрой породы третьей лактации с выявленными комбинациями генотипов генов диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (DGAT1), соматотропина (GH), пролактина (PRL) и бета-лактоглобулина (BLG)

Следует отметить, что к третьей лактации почти половина протестированных животных выбыла из основного стада. Основными причинами выбытия также были маститы (67%), эндометриты (10%), болезни конечностей (17%), внутренние незаразные заболевания (кетозы) (6%).

Для оценки ассоциированного влияния комплексных генотипов по генам диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (DGAT1), соматотропина (GH), пролактина (PRL) и бета-лактоглобулина (BLG) на показатели молочной продуктивности коров белорусской черно-пестрой породы минимальная выборка составила 5 голов.

В таблице 3 приведены показатели молочной продуктивности коров белорусской черно-пестрой породы с комплексными генотипами по генам диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (DGAT1), соматотропина (GH), пролактина (PRL) и бета-лактоглобулина (BLG). Анализ данных таблицы свидетельствует о том, что наиболее высокий удой был у первотелок белорусской черно-пестрой породы с комплексных генотипом DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{AB} – 6248,56±248,84 кг, у первотелок с комплексным генотипом DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AB} – 6171,21±279,89 кг. Первотелки с указанными выше комплексными генотипами превосходили своих сверстниц, имеющих самый низкий удой – 5207,80±246,87 кг (комплексный генотип DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AB}BLG^{AA}) на 19,9% (P<0,01) и на 18,4% (P<0,01) соответственно. Удой первотелок с другими комплексными генотипами составил: DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AA} – 5917,20±243,45 кг, DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{BB} – 5998,30±244,84 кг, DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AA} – 5989,00±202,49 кг, DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AB} – 5978,67±240,78 кг, DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{BB} – 5807,40±241,43 кг. По этому показателю они превосходили первотелок с комплексным генотипом DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AB}BLG^{AA} на 13,6% (P<0,01), на 15,1% (P<0,01), на 15,0% (P<0,01), 14,8% (P<0,01) и на 11,5% (P<0,05) соответственно. По массовой доле жира в молоке наиболее высокие показатели имели первотелки с комплексным генотипом DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AB} – 3,81±0,07% и превосходили своих сверстниц с комплексным генотипом DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AB}BLG^{AA}, имеющих наиболее низкую жирномолочность, на 3,65%, или на 0,16 п.п. (P<0,05). У первотелок с комплексным генотипом DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AA} массовая доля жира в молоке составила 3,73±0,11%, с комплексным генотипом DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{BB} – 3,73±0,10%, с комплексным генотипом DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AA} – 3,68±0,11%, с комплексным генотипом DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AB} – 3,75 ± 0,09%, с комплексным генотипом DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{AB} – 3,76 ± 0,09% и с комплексным генотипом DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{BB} – 3,65 ± 0,04%, что на 0,08 п.п., 0,08 п.п., 0,03 п.п., 0,10 п.п., 0,11 п.п. и на 0,02 п.п. выше соответственно, чем у первотелок с комплексным генотипом DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AB}BLG^{AA}. Что касается массовой доли белка в молоке, то наиболее высокий показатель имели первотелки с комплексными генотипами DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AA} и DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{AB} – 3,33±0,04%, самые низкие – первотелки с комплексными генотипами DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AB} и DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{BB} – 3,25±0,04%. У первотелок остальных изучаемых генотипов массовая доля белка в молоке находилась в интервале 3,27±0,04% ...3,32±0,04%.

Таблица 3 – Ассоциация комплексных генотипов по генам диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (DGAT1), соматотропина (GH), пролактина (PRL), бета-лактоглобулина (BLG) с показателями молочной продуктивности коров белорусской черно-пестрой породы ($M \pm m$)

№	Генотип	n	Показатели				
			Удой за 305 дней лактации, кг	Массовая доля жира, %	Количество молочного жира, кг	Массовая доля белка, %	Количество молочного белка, кг
Первотелки белорусской черно-пестрой породы							
1	DGAT1 ^{KK} GH ^{LL} PRL ^{AA} BLG ^{AA}	5	5917,20±243,45**	3,73±0,11	221,70±13,98**	3,27±0,08	193,00±8,29**
2	DGAT1 ^{KK} GH ^{LL} PRL ^{AA} BLG ^{AB}	14	6171,21±279,89**	3,81±0,07*	236,14±13,45**	3,27±0,04	202,36±10,20**
3	DGAT1 ^{KK} GH ^{LL} PRL ^{AA} BLG ^{BB}	10	5998,30±244,84**	3,73±0,10	223,20±11,47**	3,28±0,05	196,20±7,36**
4	DGAT1 ^{KK} GH ^{LL} PRL ^{AB} BLG ^{AA}	6	5989,00±202,49**	3,68±0,11	222,50±13,06**	3,33±0,04	200,00±11,00**
5	DGAT1 ^{KK} GH ^{LL} PRL ^{AB} BLG ^{AB}	9	5978,67±240,78**	3,75±0,09	226,11±12,24**	3,25±0,04	194,44±12,46**
6	DGAT1 ^{KK} GH ^{LV} PRL ^{AA} BLG ^{AB}	9	6248,56±241,10**	3,76±0,09	234,22±12,73**	3,33±0,04	208,44±12,04**
7	DGAT1 ^{KK} GH ^{LV} PRL ^{AA} BLG ^{BB}	5	5807,40±241,43*	3,67±0,04	213,40±9,98*	3,25±0,04	188,40±7,28*
8	DGAT1 ^{KK} GH ^{LV} PRL ^{AB} BLG ^{AA}	5	5207,80±246,87	3,65±0,04	188,80±9,02	3,32±0,04	172,60±9,97
Коровы белорусской черно-пестрой породы второй лактации							
1	DGAT1 ^{KK} GH ^{LL} PRL ^{AA} BLG ^{AA}	5	5798,40±251,29	3,55±0,11	206,20±12,42	3,25±0,04	188,60±9,34
2	DGAT1 ^{KK} GH ^{LL} PRL ^{AA} BLG ^{AB}	12	5993,50±200,65	3,82±0,04**	228,42±7,82**	3,34±0,03	200,08±7,41*
3	DGAT1 ^{KK} GH ^{LL} PRL ^{AA} BLG ^{BB}	8	5809,38±226,28	3,77±0,07*	218,63±12,08*	3,31±0,04	192,50±13,74
4	DGAT1 ^{KK} GH ^{LL} PRL ^{AB} BLG ^{AA}	6	6047,83±206,32	3,60±0,10	217,67±12,05*	3,31±0,06	199,67±10,10*
5	DGAT1 ^{KK} GH ^{LL} PRL ^{AB} BLG ^{AB}	8	5809,45±229,64	3,73±0,07*	216,63±10,02*	3,32±0,03	193,25±8,89
6	DGAT1 ^{KK} GH ^{LV} PRL ^{AA} BLG ^{AB}	6	5885,17±282,55	3,76±0,07*	220,83±12,45*	3,37±0,05	197,33±11,75*
Коровы белорусской черно-пестрой породы третьей лактации							
1	DGAT1 ^{KK} GH ^{LL} PRL ^{AA} BLG ^{AB}	10	5675,60±122,84	3,89±0,08	221,20±7,69	3,37±0,04	190,70±8,53
2	DGAT1 ^{KK} GH ^{LL} PRL ^{AA} BLG ^{BB}	6	6011,33±248,53*	3,76±0,04	225,50±13,94	3,33±0,04	200,67±12,90
3	DGAT1 ^{KK} GH ^{LL} PRL ^{AB} BLG ^{AB}	7	5759,86±282,88	3,74±0,07	215,00±11,07	3,32±0,05	191,29±10,16

По количеству молочного жира в молоке самые высокие качественные показатели имели первотелки с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AB}$ – 236,14±13,45 кг, что на 25,1% ($P<0,01$) выше, чем у первотелок с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AB}BLG^{AA}$, имеющих наименьший показатель – 188,80±9,02 кг.

У первотелок с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AA}$ количество молочного жира в молоке составило 221,70±13,98 кг, с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{BB}$ – 223,20±11,47 кг, с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AA}$ – 225,50±13,06 кг, с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AB}$ – 226,11±12,24 кг, с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{AB}$ – 234,22±12,73 кг и с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{BB}$ – 213,40±9,98 кг, что на 17,4% ($P<0,01$), на 18,2% ($P<0,01$), на 17,8% ($P<0,01$), на 19,7% ($P<0,01$), на 24,1% ($P<0,01$) и на 13,0% ($P<0,05$) соответственно выше, по сравнению с первотелками, имеющими комплексный генотип $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AB}BLG^{AA}$. По количеству молочного белка в молоке лучшие результаты показали первотелки с комплексными генотипами $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{AB}$ – 208,44±12,04 кг и $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AB}$ – 202,36±10,20 кг, что на 20,7% ($P<0,01$) и на 17,2% ($P<0,01$) выше, чем у первотелок комплексного генотипа $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AB}BLG^{AA}$, имеющих показатель 172,60±9,97 кг. У первотелок других изучаемых комплексных генотипов количество молочного белка в молоке находилось в интервале 188,40±7,28 кг...200,00±11,00 кг, что выше, чем у первотелок с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AB}BLG^{AA}$ на 9,1% ($P<0,05$) ...15,8% ($P<0,05$) соответственно.

При анализе показателей молочной продуктивности коров белорусской черно-пестрой породы второй лактации с комплексными генотипами по генам диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (DGAT1), соматотропина (GH), пролактина (PRL) и бета-лактоглобулина (BLG) было установлено, что наиболее высокие удои были у коров с комплексными генотипами $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AA}$ и $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AB}$ – 6047,83±206,32 кг и 5993,50±200,65 кг соответственно, что на 4,3% и на 3,3% выше, чем у коров с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AA}$, имеющих наименьший удой – 5798,40±251,29 кг. Коровы второй лактации комплексного генотипа $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{BB}$ имели удой 5809,38±226,28 кг, комплексного генотипа $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AB}$ – 5809,38±229,64 кг и комплексного генотипа $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{AB}$ – 5885,17±282,55 кг, что на 0,2%, на 0,2% и на 1,4% выше, чем у коров с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AA}$. По массовой доле жира в молоке, так же как и у первотелок, наиболее высокий показатель имели животные с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AB}$ – 3,82±0,04%, что на 0,27 п.п. ($P<0,01$) больше, чем у коров с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AA}$, имеющих наименьшую жирномолочность – 3,55±0,11%. У коров с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{BB}$ массовая доля жира в молоке составила 3,77±0,07%, с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AA}$ – 3,60±0,10%, с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AB}$ – 3,73±0,07% и с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{AB}$ – 3,76±0,07%, что на 0,22 п.п. ($P<0,05$), на 0,05 п.п., на 0,18 п.п. ($P<0,05$) и на 0,21 п.п. ($P<0,05$) выше, чем у коров с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AA}$ соответственно. Что касается массовой доли белка в молоке, то наиболее высокий показатель имели коровы с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{AB}$ – 3,37±0,05%, наиболее низкий – коровы с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AA}$ – 3,25±0,04%. У животных других комплексных генотипов массовая доля белка в молоке варьировала в пределах 3,31±0,04% ... 3,34±0,03%. В отношении количества молочного жира и белка в молоке наиболее высокие результаты показали животные, имеющие комплексный генотип $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AB}$ – 228,42±7,82 кг и 200,08±7,41 кг соответственно. По этим показателям они превосходили животных с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AA}$, имеющих наиболее низкие значения – 206,20±12,42 кг и 188,60±9,34 кг, что на 10,8% ($P<0,01$) и на 6,1% ($P<0,05$) ниже соответственно. Что касается животных других комплексных генотипов, то количество молочного жира и белка в молоке у них составило: у коров с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{BB}$ – 218,63±12,08 кг и 192,50±13,74 кг, с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AA}$ – 217,67±12,05 кг и 199,67±10,10 кг, с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AB}$ – 216,63±10,02 кг и 193,25±8,89 кг и с генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LV}PRL^{AA}BLG^{AB}$ – 220,83±12,45 кг и 197,33±11,75 кг соответственно.

К третьей лактации остались выборки животных по 5 голов и более трех полиморфных вариантов генов – $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AB}$ (10 голов), $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{BB}$ (6 голов) и $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AB}$ (7 голов), другие выявленные комплексные генотипы были представлены меньшим количеством голов.

При анализе показателей молочной продуктивности коров белорусской черно-пестрой пород третьей лактации с комплексными генотипами по генам диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (DGAT1), соматотропина (GH), пролактина (PRL), бета-лактоглобулина (BLG) было установлено, что по удою наиболее высокий показатель имели коровы с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{BB}$ – 6011,33±248,53 кг, самый низкий – 5675,60±122,84 кг – животные с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AB}$, у коров с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AB}$ удой составил 5759,86±282,88 кг. Вместе с тем по массовой доле жира и

белка в молоке наиболее высокие показатели имели коровы третьей лактации с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AB}$ – $3,89\pm 0,08\%$ и $3,37\pm 0,04\%$ соответственно. По этим показателям они превосходили своих сверстниц с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{BB}$ на 0,13 п.п. ($P<0,05$) и на 0,04 п.п., а коров с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AB}$ – на 0,15 п.п. ($P<0,05$) и на 0,05 п.п. соответственно.

По количеству молочного жира и белка в молоке наиболее высокие результаты имели животные с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{BB}$ – $225,50\pm 13,94$ кг и $200,67\pm 12,90$ кг, что связано с более высоким удоем по сравнению со сверстницами. У коров с полиморфным вариантом генов $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AB}$ данные показатели составили $221,20\pm 7,69$ кг и $190,70\pm 8,53$ кг, а у животных полиморфным вариантом генов $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AB}BLG^{AB}$ – $215,00\pm 11,07$ кг и $191,29\pm 10,16$ кг соответственно.

Заключение. При оценке ассоциированного влияния комплексных генотипов по генам диацилглицерол О-ацил трансферазы 1 (DGAT1), соматотропина (GH), пролактина (PRL) и бета-лактоглобулина (BLG) с показателями молочной продуктивности коров белорусской черно-пестрой породы установлено, что по массовой доле жира и количеству молочного жира в молоке, в большинстве случаев, наиболее высокие показатели имели животные с комплексным генотипом $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AB}$.

Conclusion. When assessing the associated effect of complex genotypes of diacylglycerol O-acyl transferase 1 (DGAT1), somatotropin (GH), prolactin (PRL) and beta-lactoglobulin (BLG) genes on the indicators of dairy productivity of cows of the Belarusian black-and-white breed, it was found that animals with the complex genotype $DGAT1^{KK}GH^{LL}PRL^{AA}BLG^{AB}$ had the highest indicators of dairy productivity.

Список литературы. 1. Калашникова, Л. А. Влияние полиморфизма генов молочных белков и гормонов на молочную продуктивность коров черно-пестрой породы / Л. А. Калашникова, Я. А. Хабибрахманова, А. Ш. Тинаев // Доклады РАСХН. – 2009. – № 3. – С. 49-52. 2. Маниатис, Т. Молекулярное клонирование. / Т. Маниатис, Э.Фрич, Дж. Сэмбрук. - М. : Мир, 1984. – 480 с. 3. Меркурьева, Е. К. Биометрия в селекции и генетике / Е.К. Меркурьева. – М. : Колос, 1970. – 423 с. 4. Меркурьева, Е. К. Генетика с основами биометрии / Е. К. Меркурьева, Г. Н. Шангин-Березовский. – М. : Колос, 1983. – 400 с. 5. Плохинский, Н. А. Биометрия / Н. А. Плохинский. – М. : АН СССР, 1969. – 360 с. 6. Погорельский, И. А. Полиморфизм генов бета-лактоглобулина, гормона роста и пролактина и влияние их генотипов на молочную продуктивность коров / И. А. Погорельский, Г. Н. Сердюк, М. В. Позовникова // Молочное и мясное скотоводство. – 2014. – № 6. – С. 9-13. 7. Хабибрахманова, Я. А. Генный полиморфизм молочных пород скота / Я. А. Хабибрахманова, Ш. Р. Мещеров, Л. А. Калашникова // Съезд генетиков и селекционеров, посвященный 200-летию со дня рождения Ч. Дарвина. V Съезд ВОГИС, Москва, 21-28 июня 2009 г. – Москва, 2009. – С. 110. 8. Comprehensive assessment of candidate genes associated with fattening performance in Holstein-Frisian bulls / S. Ardici [et al] // Archives Animal Breeding. 62,9 – 32, 2019. 9. Stimulated growth hormone (GH) release in Friesian cattle with respect to GH genotypes / R. Grochowska [et al] // Respod. Nutr. Dev. 39 (1999) 171-180. 10. Effects of DGAT1 variants on milk production traits in Jersey cattle / J. Komisarek [et al] // Animal Science Papers and Reports vol.22 (2004) no.3, 307-313. 11. Polymorphism of PIT-1 and Prolactin Genes and Their Effects on Milk Yield in Holstein Frisian Dairy Cows Bred in Vietnam / N.T.D. Thya [et al] // Russian Journal of Genetics, 2018, Vol.54, No.3, pp.346-352.

References. 1. Kalashnikova, L. A. Vliyanie polimorfizma genov molochnyh belkov i gormonov na molochnyuyu produktivnost' korov cherno-pestroj porody / L. A. Kalashnikova, YA. A. Habibrahmanova, A. SH. Tinaev // Doklady RASKHN. – 2009. – № 3. – S. 49-52. 2. Maniatis, T. Molekulyarnoe klonirovanie. / T. Maniatis, E.Frich, Dzh. Sembruk. - M. : Mir, 1984. – 480 s. 3. Merkur'eva, E. K. Biometriya v selekcii i genetike / E.K. Merkur'eva. – M. : Kolos, 1970. – 423 s. 4. Merkur'eva, E. K. Genetika s osnovami biometrii / E. K. Merkur'eva, G. N. SHangin-Berezovskij. – M. : Kolos, 1983. – 400 s. 5. Plohinskij, N. A. Biometriya / N. A. Plohinskij. – M. : AN SSSR, 1969. – 360 s. 6. Pogorel'skij, I. A. Polimorfizm genov beta-laktoglobulina, gormona rosta i prolaktina i vliyanie ih genotipov na moloch-nuyu produktivnost' korov / I. A. Pogorel'skij, G. N. Serdyuk, M. V. Pozovnikova // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. – 2014. – № 6. – S. 9-13. 7. Habibrahmanova, YA. A. Gennyj polimorfizm molochnyh porod skota / YA. A. Habibrahmanova, SH. R. Meshcherov, L. A. Kalashnikova // S"ezd genetikov i selekcionerov, posvyashchennyj 200-letiyu so dnya rozhdeniya CH. Darvina. V S"ezd VOGIS, Moskva, 21-28 iyunya 2009 g. – Moskva, 2009. – S. 110. 8. Comprehensive assessment of candidate genes associated with fattening performance in Holstein-Frisian bulls / S. Ardici [et al] // Archives Animal Breeding. 62,9 – 32, 2019. 9. Stimulated growth hormone (GH) release in Friesian cattle with respect to GH genotypes / R. Grochowska [et al] // Respod. Nutr. Dev. 39 (1999) 171-180. 10. Effects of DGAT1 variants on milk production traits in Jersey cattle / J. Komisarek [et al] // Animal Science Papers and Reports vol.22 (2004) no.3, 307-313. 11. Polymorphism of PIT-1 and Prolactin Genes and Their Effects on Milk Yield in Holstein Frisian Dairy Cows Bred in Vietnam / N.T.D. Thya [et al] // Russian Journal of Genetics, 2018, Vol.54, No.3, pp.346-352.

Поступила в редакцию 18.01.2023.