

УДК 636.082

DOI: 10.33284/2658-3135-103-3-36

Возрастная изменчивость конституции и экстерьера герефордских бычков, генотипированных по гену GDF5

К.М. Джуламанов, Н.П. Герасимов, В.И. Колпаков, Е.Б. Джуламанов

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург)

Аннотация. Переход на ресурсосберегающую технологию ведения отрасли мясного скотоводства требует разработки объективных и точных методов прогнозирования и оценки потенциала продуктивности животных. В связи с этим целью работы являлось изучение влияния полиморфизма T586C в гене GDF5 на возрастную изменчивость размеров, объема и плотности тела у бычков герефордской породы. Группировку подопытных животных провели после генотипирования бычков по гену дифференцирующего фактора роста (GDF5): I группа – носители генотипа CC (n=120 гол.), II – гетерозиготные особи CT (n=18 гол.) и III группа – носители генотипа TT (n=11 гол.). В возрасте 24 месяцев между бычками разных генотипов зафиксированы максимальные различия по линейным промерам, что свидетельствует об относительной долгорослости животных с гомозиготным вариантом гена GDF5^{TT}. На этом же этапе выращивания была достигнута наибольшая межгрупповая дистанция по объему тела в пользу носителей генотипа GDF5^{TT} относительно сверстников, составляющая 0,084-0,115 м³ (17,83-26,14 %; P<0,001). Вариабельность плотности тела у герефордских бычков в большей степени определялась возрастом наступления половой, хозяйственной спелости. Так, в подсосный период плотность тела молодняка повышается. После отъема в связи с интенсивным развитием внутренних органов, обусловленным изменением структуры рациона, увеличивается рыхлость телосложения вплоть до 15-месячного возраста. Таким образом, в результате изучения линейного роста у бычков герефордской породы установлена связь однонуклеотидной замены T586C в гене GDF5 с внутривидовой изменчивостью в размерах тела. При этом носители гомозиготного варианта GDF5^{TT} отличались значительным превосходством по объему туловища по сравнению со сверстниками других генотипов. Напротив, относительная плотность телосложения была характерна для особей с генотипом GDF5^{CC}.

Ключевые слова: бычки, герефордская порода, линейные промеры, объем тела, плотность тела, фактор роста, GDF5, генотип.

UDC 636.082

Age variability of the constitution and exterior of the Hereford bulls genotyped for the GDF5 gene

Kinispay M Dzhuslamanov, Nikolay P Gerasimov, Vladimir I Kolpakov, Erzhan B Dzhuslamanov

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)

Summary. The transition to resource-saving technology of the beef cattle breeding industry requires the development of objective and accurate methods for predicting and assessing the potential of animal productivity. In this regard, the aim of this work was to study the effect of T586C polymorphism in the GDF5 gene on age variability of body size, volume and density of the Hereford bulls. The experimental animals were grouped after genotyping the bulls by the gene for the growth differentiating factor (GDF5): group I - carriers of the CC genotype (n = 120 animals), II - heterozygous CT individuals (n = 18 animals), and group III - carriers of TT genotype (n = 11 heads). At the age of 24 months, the maximum differences in linear measurements were recorded between bulls of different genotypes; it indicated the relative long stature of animals with a homozygous variant of the GDF5^{TT} gene. At the same stage of rearing, the greatest intergroup distance in terms of body volume was achieved in favor of carriers of the GDF5^{TT}

genotype relative to their peers, amounting to 0.084-0.115 m³ (17.83-26.14%; P≤0.001). The variability of body density in the Hereford bulls was largely determined by the age of sexual and economic maturity. Therefore, during the sucking period, the density of the body of young animals increases. After weaning, due to the intensive development of internal organs, due to a change in the structure of the diet, the looseness of the constitution increases up to 15 months of age. Thus, as a result of the study of linear growth in bulls of the Hereford breed, a connection of the single nucleotide T586C substitution in the GDF5 gene with intrabreed variation in body size was established. At the same time, carriers of the homozygous variant of GDF5^{TT} were distinguished by a significant superiority in the volume of the corpus compared to their peers of other genotypes. On the contrary, the relative body density was characteristic for individuals with the GDF5^{CC} genotype.

Key words: bulls, Hereford breed, linear measurements, body volume, body density, growth factor, GDF5, genotype.

Введение.

Селекционно-племенная работа с отечественной популяцией герефордской породы скота направлена на создание высокоэффективных стад, характеризующихся высокой мясной продуктивностью и хорошо приспособленных к местным кормовым и природно-климатическим условиям. Этим требованиям в полной мере отвечают крупные высокорослые особи. Поэтому данное направление селекции поддерживается оценкой и отбором герефордов по выраженности типа телосложения с учётом линейных промеров. При этом высокой племенной ценностью отличаются животные высокорослого типа телосложения (Дубовскова М.П. и Белоусов А.М., 2009). В качестве традиционного метода отбора племенного молодняка по экстерьеру в настоящее время применяется балльная оценка, основанная на измерении высоты в крестце (Амерханов Х.А. и др., 2012). Однако селекция мясного скота и формирование ремонтного поголовья по этому способу проводится в 15-месячном возрасте. Для сокращения затрат на выращивание неперспективных особей необходим точный инструмент для прогнозирования племенной ценности животных.

Современное развитие биотехнологии и генетики позволяет внедрить в практику селекционно-племенной работы с мясными породами скота отбор животных с желательной последовательностью ДНК (Селионова М.И. и др., 2017). Одним из наиболее перспективных наследственных факторов для мясного скотоводства является ген дифференцирующего фактора роста (GDF5), который регулирует морфогенез костной и соединительной тканей в организме (Chabra A et al., 2003; Coleman CM and Tuan RS, 2003; Nakamura T et al., 2003; Chen X et al., 2006). Дифференцирующий фактор роста 5 (GDF5) является частью суперсемейства трансформирующего фактора роста b (TGF-b) и также тесно связан с субсемейством морфогенетических протеинов костей (BMPs) (Miyamoto Y et al., 2007). Однонуклеотидный полиморфизм в 1 экзоне гена в позиции T586C ассоциируется формированием размера скелетной структуры и типа телосложения у разных пород мясного скота (Liu YF et al., 2010).

Цель исследования.

Изучение влияния полиморфизма T586C в гене GDF5 на возрастную изменчивость размеров, объёма и плотности тела у бычков герефордской породы.

Материал и методы исследований.

Объект исследования. Бычки герефордской породы с рождения до 24-месячного возраста.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями Russian Regulations, 1987 (Order No. 755 on 12.08.1977 the USSR Ministry of Health) и «The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press Washington, D.C. 1996)». При выполнении исследований были предприняты усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшения количества используемых образцов.

Схема эксперимента. Исследования проводились в ООО «АФ Калининская» Челябинской области.

После генотипирования бычков по гену дифференцирующего фактора роста (GDF5) животных разделили на группы: I группа – носители генотипа СС (n=120 гол.), II – гетерозиготные особи СТ (n=18 гол.) и III группа – носители генотипа ТТ (n=11 гол.). Рост и развитие подопытных животных изучался с рождения до 24-месячного возраста путём взвешивания и взятия основных линейных промеров. Контрольное выращивание молодняка проводили на фоне одинаковых условий кормления и содержания.

Изучение T586C полиморфизма гена дифференцирующего фактора роста (GDF5) проводили методом ПЦП-ПДРФ на образцах ДНК. Нуклеотидная последовательность праймера: F: 5'-tgtccgatgctgacagaagg-3' и R: 5'-gagtgaggtaatcccagatacca-3'.

Оборудование и технические средства. Использовалось оборудование Испытательного центра ЦКП ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (аттестат аккредитации № RA.RU.21ПФ59 от 02.12.2015). Электронные весы «ВСП4-Ж» (Россия) для взвешивания животных, мерная палка Лидтина, мерная лента и мерный циркуль Вилькенса, пробирки с ЭДТА (10 мл). Для выделения ДНК использовали набор реагентов «DIAtom™ DNA Prep 200» (IsoGene Lab, Москва). Для проведения ПЦП использовали набор GenePak™ PCR Core (IsoGene Lab, Москва), термоциклер «MyCycler» («BioRad», США), трансиллюминатор «UVT-1» («Биоком», Россия), гель-документирующая система «VITran v.1.0».

Статистическую обработку проводили методом вариационной статистики с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) и обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США).

Объём тела (м³) рассчитывали по формуле:

$$V = \frac{\text{ширина груди} + \text{ширина в маклоках}}{2} \times \text{косая длина туловища} \times \text{глубина груди} \times 10^{-6}$$

Плотность тела (кг/м³):

$$\rho = \frac{M}{V},$$

где M – живая масса, кг;

V – объём тела, м³.

Статистическая значимость различий между группами оценивалась тестом Тьюки (Post-hoc Tukey's HSD test for unequal N).

Результаты исследования.

У герефордских бычков полиморфизм в гене GDF5 T586C был связан с неодинаковыми размерами тела уже у новорождённых животных (табл. 1). Так, между носителями гомозиготных генотипов отмечались достоверные различия по ширине (P≤0,001) и глубине (P≤0,01) груди, ширине в маклоках (P≤0,05) и полуобхвату зада (P≤0,05). При этом наибольшим развитием грудной клетки и задней трети туловища характеризовались телята с генотипом ТТ гена дифференцирующего фактора роста. Гетерозиготный молодняк при рождении имел промежуточную выраженность размеров тела.

К 8-месячному возрасту достоверные различия между альтернативными вариантами гомозиготных генотипов сохранились лишь по полуобхвату зада с преимуществом III группы на 1,5 см (1,62 %; P≤0,01). На этом этапе онтогенеза более существенные межгрупповые различия отмечались в развитии периферического отдела скелета. Так, превосходство носителей GDF5^{TT} генотипа по величине высоты в холке и крестце составляло 2,9-3,4 см (2,75-3,42 %; P≤0,05-0,01) относительно сверстников из I группы.

Таблица 1. Влияние полиморфизма GDF5 T586C на линейный рост герефордских бычков
Table 1. Effect of GDF5 T586C polymorphism on linear growth of the Hereford bulls

Промер / Measurement	Возраст, мес. / Age, months			
	новорождён. / newborn	8	15	24
Генотип по гену GDF5^{CC} (I группа) / Genotype by GDF5^{CT} (group I)				
Высота в холке / Withers height	68,6±0,16	99,4±0,22 ^a	120,8±0,26 ^c	123,8±0,28 ^c
Высота в крестце / Hip height	70,7±0,14	105,6±0,20 ^b	124,5±0,23 ^c	127,6±0,24 ^c
Косая длина туловища / Oblique length of the body	58,4±0,25	110,2±0,46	131,6±0,54 ^c	135,4±0,57 ^c
Ширина груди / Chest width	13,4±0,06 ^c	32,2±0,14	43,4±0,20 ^b	45,5±0,22 ^c
Глубина груди / Chest depth	26,4±0,10 ^b	50,4±0,20	66,6±0,27 ^b	70,5±0,29 ^b
Обхват груди / Chest girth	80,6±0,18	162,8±0,35	188,8±0,40 ^c	195,0±0,43 ^c
Ширина в маклоках / Hip width	14,8±0,08 ^a	33,4±0,18	44,2±0,24 ^b	46,4±0,27 ^b
Полуобхват зада / Backside half-girth	49,1±0,19 ^a	92,5±0,36 ^b	107,4±0,42 ^c	110,5±0,45 ^c
Обхват пясти / Metacarpus girth	9,5±0,05	17,4±0,06	20,5±0,07 ^c	21,6±0,08 ^c
Генотип по гену GDF5^{CT} (II группа) / Genotype by GDF5^{CT} (group II)				
Высота в холке / Withers height	69,4±0,36	101,0±0,47	125,0±0,56 ^c	127,8±0,74 ^c
Высота в крестце / Hip height	71,1±0,27	106,9±0,40	129,0±0,46 ^c	131,3±0,72 ^c
Косая длина туловища / Oblique length of the body	59,0±0,55	111,4±1,00	135,7±1,24 ^a	140,6±1,28 ^b
Ширина груди / Chest width	14,3±0,16 ^a	32,3±0,26	44,0±0,34 ^a	46,1±0,39 ^b
Глубина груди / Chest depth	27,3±0,23	49,9±0,42	66,9±0,60 ^a	71,0±0,65 ^b
Обхват груди / Chest girth	81,2±0,42	161,8±0,89	187,9±1,06 ^c	194,4±1,17 ^c
Ширина в маклоках / Hip width	15,1±0,14	34,0±0,26	45,3±0,34	48,2±0,39
Полуобхват зада / Backside half-girth	50,4±0,50	93,6±0,98 ^a	114,3±1,19	117,8±1,30
Обхват пясти / Metacarpus girth	9,8±0,10	17,7±0,11	20,8±0,15 ^c	21,6±0,12 ^c
Генотип по гену GDF5^{TT} (III группа) / Genotype by GDF5^{CT} (group III)				
Высота в холке / Withers height	69,7±0,41	102,8±0,60	131,2±0,72	135,3±0,86
Высота в крестце / Hip height	72,2±0,54	108,5±0,67	135,6±0,86	138,7±0,91
Косая длина туловища / Oblique length of the body	59,7±0,45	113,3±0,74	142,2±0,87	148,1±0,93
Ширина груди / Chest width	15,1±0,34	33,6±0,64	46,4±0,89	49,3±0,94
Глубина груди / Chest depth	27,8±0,26	51,1±0,48	70,4±0,65	75,0±0,91
Обхват груди / Chest girth	81,6±0,77	163,9±1,43	196,7±1,68	203,8±1,73
Ширина в маклоках / Hip width	15,7±0,33	35,1±0,62	47,4±0,80	50,6±0,83
Полуобхват зада / Backside half-girth	51,3±0,75	94,0±1,30	115,9±1,60	119,7±1,69
Обхват пясти / Metacarpus girth	9,7±0,19	18,4±0,15	22,3±0,19	23,0±0,30

Примечание: различия относительно III группы: ^a – P≤0,05; ^b – P≤0,01; ^c – P≤0,001

Note: differences relative to group III: ^a – P≤0.05; ^b – P≤0.01; ^c – P≤0.001

Более интенсивный линейный рост в период после отъема у бычков с генотипом TT гена дифференцирующего фактора роста подтверждается увеличивающейся межгрупповой дистанцией по размерам тела. Так, в 15-месячном возрасте молодняк III группы имел значительное превосходство по величине высоты в холке на 6,2-10,4 см (4,96-8,61 %; P≤0,001), в крестце – на 6,6-11,1 см (5,12-8,92 %; P≤0,001), косой длине туловища – на 6,5-10,6 см (4,79-8,05 %; P≤0,05-0,001), ширины груди – на 2,4-3,0 см (5,45-6,91 %; P≤0,05-0,01), глубины груди – на 3,5-3,8 см (5,23-5,71 %; P≤0,05-0,01), обхвата груди – на 7,9-8,8 см (4,18-4,68 %; P≤0,001), ширины в маклоках – на 2,1-3,2 см

(4,64-7,24 %; $P \geq 0,05$, $P \leq 0,001$), полуобхвата зада – на 1,6-8,5 см (1,40-7,91 %; $P \geq 0,05$, $P \leq 0,001$) и обхвата пясти – на 1,5-1,8 см (7,21-8,78 %; $P \leq 0,001$). Следует отметить, что особи-носители гетерозиготного генотипа по развитию задней трети туловища несущественно уступали своим более крупным сверстникам из III группы.

В возрасте 2-х лет между бычками разных генотипов зафиксированы максимальные различия по размерам статей экстерьера, что свидетельствовало об относительной долгорослости животных с гомозиготным вариантом гена $GDF5^{TT}$. Они увеличили своё превосходство по линейному росту относительно предыдущего периода по всем изучаемым промерам тела.

При анализе динамики объёма тела у бычков в зависимости от варианта гена дифференцирующего фактора роста установлено, что на более ранних этапах онтогенеза межгрупповые различия были несущественные (рис. 1).

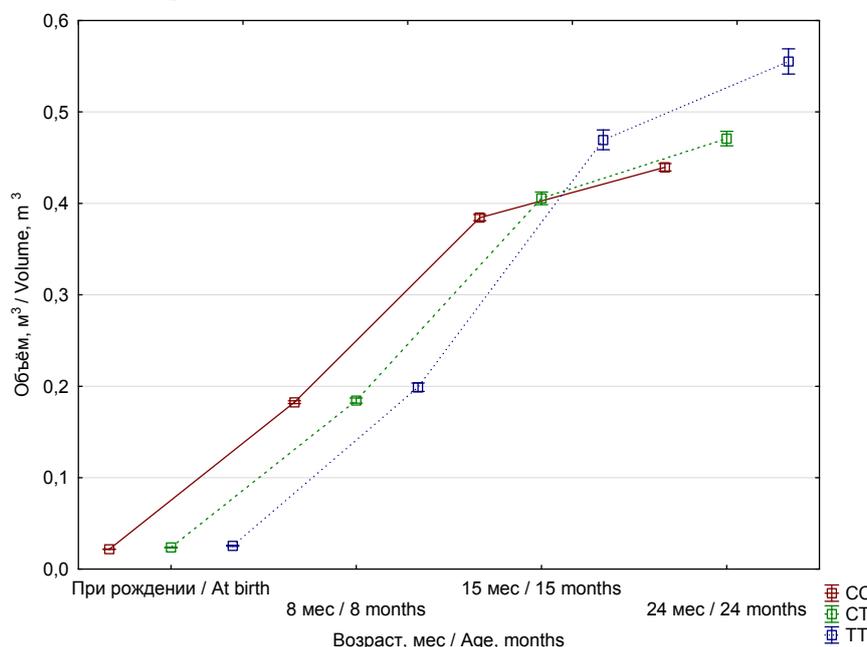
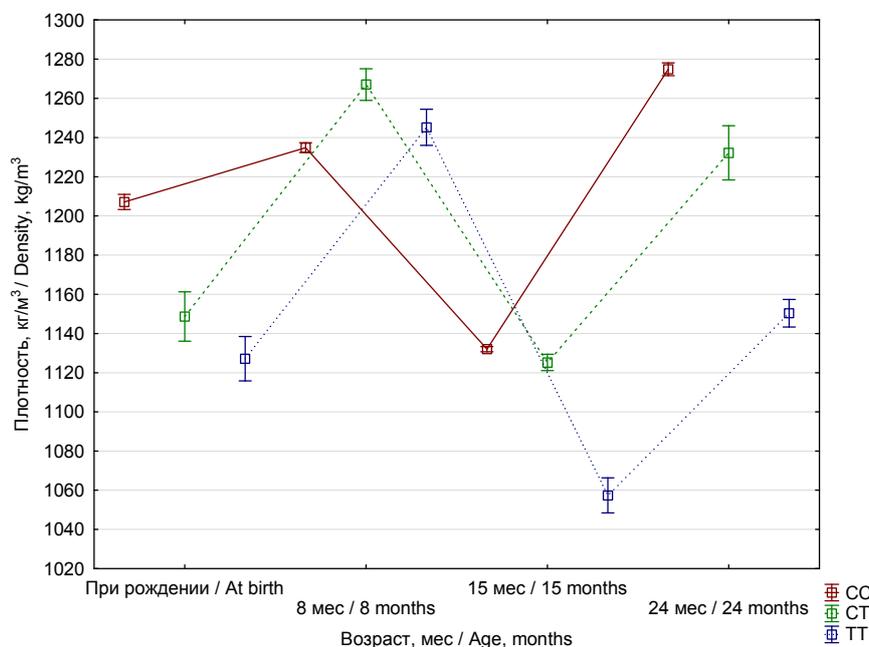


Рис. 1 – Объём туловища бычков разных генотипов
Figure 1 – The volume of body of bulls with different genotypes

Следует отметить, что минимальным объёмом во все возрастные периоды характеризовались носители гомозиготного генотипа $GDF5^{CC}$. Так, при рождении они уступали сверстникам на 0,02-0,04 м³ (8,33-15,38 %; $P \leq 0,01-0,001$). К 8-месячному возрасту достоверных межгрупповых различий по величине изучаемого показателя не установлено. Однако в 15 месяцев зафиксировано достоверное ($P \leq 0,001$) превосходство III группы бычков на 0,064-0,086 м³ (15,76-22,40 %). К 2-летнему возрасту было достигнуто максимальное преимущество гомозиготных носителей $GDF5^{TT}$ относительно сверстников как в абсолютных, так и в относительных показателях – 0,084-0,115 м³ (17,83-26,14 %; $P \leq 0,001$).

Данные, представленные на рисунке 1, хорошо иллюстрируют выраженную долгорослость молодняка III группы. Так, на интервале 8-15 месяцев объём тела бычков I группы увеличился на 109,84 %, II – на 120,65, III группы – на 136,18 %. На заключительном этапе выращивания (15-24 месяцев) минимальные изменения в объёме тела установлены у гомозиготных носителей генотипа $GDF5^{CC}$, которые отставали по скорости изменения объёма туловища на 3,51 % от сверстников с вариантом гена $GDF5^{TT}$. Гетерозиготное состояние гена дифференцирующего фактора роста ассоциировалось с промежуточной выраженностью изучаемого показателя.

Возрастная изменчивость «плотности» тела у бычков разных генотипов проходила по схожему принципу (рис. 2).



**Рис. 2 – Плотность тела бычков разных генотипов/
Figure 2 – The density of body of bulls with different genotypes**

Так, в период от рождения до 8 месяцев наблюдалось повышение изучаемого показателя у молодняка I группы на 2,30 %, II – на 10,30 и III группы – на 10,48 %. Увеличение «плотности» тела подопытных животных на этом этапе онтогенеза сопряжено с интенсивным развитием осевого отдела скелета, ускоренным ростом туловища в длину и ширину. На следующем возрастном периоде (8-15 мес.) происходит снижение анализируемого параметра экстерьера на 8,33-15,09 %, при минимуме – у бычков I группы и максимуме – у сверстников III группы. По нашему мнению, подобная вариабельность «плотности» телосложения связана с усиленным формированием внутренних органов и соответственно полостей в теле молодняка, что обуславливало непропорциональное изменение линейных размеров и живой массы у животных. На заключительном этапе выращивания бычков (15-24 мес.) показатель «плотности» тела вновь увеличился в I группе на 12,62 %, во II – на 9,50 и в III группе – на 8,79 %. В этом возрастном периоде отмечается интенсивное развитие мышечной и жировой тканей, а объём внутренних полостей претерпевает минимальные изменения, что подтверждается наименьшим приростом обхвата груди и косой длиной туловища на интервале выращивания с 15 до 24 месяцев.

При оценке межгрупповой изменчивости «плотности» тела установлена её относительно большая выраженность у бычков-носителей гомозиготного генотипа GDF5^{CC}. Так, уже при рождении они превосходили сверстников на 5,09-7,10 %. Однако к 8-месячному возрасту ранг распределения генотипов изменился, при этом максимальной «плотностью» характеризовались бычки гетерозиготной группы, преимущество которых составляло 1,75-2,61 %. Но уже к 15 месяцам межгрупповые позиции восстановились, а к 24-месячному возрасту была достигнута наибольшая дифференциация между различными генотипами по гену GDF5 – 3,46-10,83 %. В то же время необходимо отметить относительную «рыхлость» конституции у носителей гомозиготного варианта TT, которая обуславливалась сравнительно большим объёмом тела, непропорциональным с живой массой.

Обсуждение полученных результатов.

Возрастная изменчивость в объёме и «плотности» тела у мясного скота обуславливается морфофизиологическими изменениями в период постнатального онтогенеза. Г.И. Левахин с соавторами (2015) сообщают, что изменения в типе кормления у крупного рогатого скота оказывают существенное влияние на развитие желудка и кишечника. При этом повышение доли грубых растительных кормов в структуре рационов способствует усиленному развитию преджелудков и кишечника у молодняка. В наших исследованиях в период после отъёма подопытных бычков от матерей в их рационах стали преобладать корма, содержащие большое количество клетчатки, что сопровождалось интенсивным увеличением в объёме внутренних полостей. Такие морфофизиологические изменения отражались на заметном снижении «плотности» тела молодняка в период от 8- до 15-месячного возраста. В то же время у бычков после 15-месячного возраста резко снижается прирост костной ткани. Так, по данным А.А. Салихова и В.И. Косилова (2014), удельный вес костной и соединительной тканей в приросте молодняка чёрно-пёстрой породы в период 16-20 месяцев составлял 7,08 %, а на интервале от рождения до 16 месяцев – 23,02 %. Таким образом, у крупного рогатого скота после 15-16-месячного возраста увеличение животных в объёме происходит преимущественно за счёт мышечной и жировой тканей, что существенно сказывается на «плотности» тела.

Н.Н. Колесник (1960) приводит отличительные особенности формирования конституции у животных. Так, по его данным, для скота с плотным телосложением характерны выраженная компактность и плотность мускулатуры. Напротив, для «рыхлых» животных присущи большие объёмы туловища и рыхлая мускулатура, которая пронизана прослойками межмышечного и внутримышечного жира. В то же время Liu Y с коллегами (2010) сообщают, что однонуклеотидный полиморфизм T586C в гене дифференцирующего фактора роста 5 определял значительную вариативность в толщине подкожной жировой клетчатки ($P=0,0498$) и мраморности мяса ($P=0,0058$) у скота китайских пород. В наших исследованиях у герефордов носителей GDF5^{CC} генотипа формировался в большей степени компактный тип телосложения, что выражалось в сравнительно меньшем их развитии в высоту и длину. Их сверстники с гомозиготным вариантом гена GDF5^{TT} отличались лучшим линейным ростом, как периферического, так и осевого отделов скелета, что обеспечило им значительное превосходство по объёму туловища. Отмечаемая в наших исследованиях контрастность в изменении формата туловища, которая обуславливалась полиморфными вариантами гена дифференцирующего фактора роста, в конечном итоге сказалась на межгрупповой изменчивости «плотности» тела герефордских бычков. По сообщению И.А. Чижика (1979), животных с рыхлой конституцией отличает высокая интенсивность весового роста, отличные откормочные качества молодняка, от которого получают «мраморное» мясо. Рыхлая конституция предпочтительна при селекции в стадах мясного скота. Таким образом, относительная «рыхлость» носителей генотипа GDF5^{TT} позволяет выделить их в желательную группу для ремонта герефордского стада. Перспектива подобных исследований подтверждается опытом Р.Ш. Тайгузина с соавторами (2018), в котором рекомендована селекция быков-производителей казахской белоголовой породы на основе взаимодействия их генетической структуры по генам CAPN1, CAST и TG5и экстерьерных особенностей потомства. По данным Н.Г. Лысенко и других (2016), нуклеотидные замены в последовательности генов CAPN1 и CAST ассоциируются с особенностями линейного роста у мясного скота. Кроме того, В.М. Габидулиным с соавторами (2019) также показана связь однонуклеотидного полиморфизма в гене гормона роста и промеров тела у молодняка абердин-ангусской породы.

Выводы.

В результате изучения линейного роста у бычков герефордской породы установлена связь однонуклеотидной замены T586C в гене GDF5 с внутривидовой изменчивостью в размерах тела. При этом носители гомозиготного варианта GDF5^{TT} отличались значительным превосходством ($P \leq 0,001$) по объёму туловища по сравнению со сверстниками других генотипов. Напротив, отно-

сительная плотность телосложения была характерна для особей с генотипом GDF5^{CC}. Таким образом, генотипирование и отбор ремонтных бычков с учётом гена дифференцирующего фактора роста является дополнительным инструментом в селекционно-племенной работе по созданию высокопродуктивных племенных стад геррефордской породы.

Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2019-2021 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0012)

Литература

1. Ассоциация генов кальпаин-кальпастатиновой системы и параметров экстерьера животных абердин-ангусской породы / Н.Г. Лысенко, А.И. Колесник, И.В. Горайчук, С.Ю. Рубан, А.М. Федота // Фактори експериментальної еволюції організмів. 2016. Т. 18. С. 111-116. [Lysenko NG, Kolisnyk AI, Goraichuk IV, Ruban SY, Fedota AM. Association of calpain and calpastatin genes with exterior traits of Aberdeen-Angus. Faktori eksperimental'noї evolyutsії organizmiv. 2016;18:111-116. (In Russ)].
2. Дубовскова М.П., Белоусов А.М. Определение категории быков-производителей по продуктивности потомков в зависимости от метода оценки // Вестник мясного скотоводства. 2009. Т. 1. № 62. С. 113-122. [Dubovskova MP, Belousov AM. Opredelenie kategorii bykov-proizvoditelei po produktivnosti potomkov v zavisimosti ot metoda otsenki. Herald of Beef Cattle Breeding. 2009;1(62):113-122. (In Russ)].
3. Колесник Н.Н. Методика определения типов конституции животных // Животноводство. 1960. № 3. С. 48-51. [Kolesnik NN. Metodika opredeleniya tipov konstitutsii zhivotnykh. Zhivotnovodstvo. 1960;3:48-51. (In Russ)].
4. Особенности полиморфизма генов гормона роста (GH), кальпаина (CAPN 1) быков-производителей мясных пород / М.И. Селионова, Л.Н. Чижова, М.П. Дубовскова, Е.С. Суржилова, Л.В. Кононова, Г.Н. Шарко // Вестник мясного скотоводства. 2017. № 2(98). С. 65-72. [Selionova MI, Chizhova LN, Dubovskova MP, Surzhikova ES, Kononova LV, Sharko GN. Polymorphism peculiarities of growth hormone (GH), calpain (CAPN1) genes of beef sires. Herald of Beef Cattle Breeding. 2017;2(98):65-72. (In Russ)].
5. Показатели продуктивности у генотипированного молодняка абердин-ангусской породы по гену bGH / В.М. Габидулин, С.А. Алимова, А.Н. Фролов, А.А. Салихов // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2019. № 4. 7 с. [Gabidulin VM, Alimova SA, Frolov AN, Salikhov AA. Productive traits in genotyped Aberdeen-Angus bull-calves by bGH gene. Bulletin of the Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2019;4:7 p. (In Russ)]. Доступно по: url: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2019-4/Articles/GVM-2019-4.pdf>. doi: 10.24411/2304-9081-2019-14029
6. Порядок и условия проведения бонитировки племенного крупного рогатого скота мясного направления продуктивности / Х.А. Амерханов, И.М. Дунин, В.И. Шаркаев и др. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. 37 с. [Amerhanov HA, Dunin IM, Sharkaev VI et al. Poryadok i usloviya provedeniya bonitirovki plemennogo krupnogo rogatogo skota myasnogo napravleniya produktivnosti. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh»; 2012:37 p. (In Russ)].
7. Роль углеводов в процессе пищеварения жвачных животных (обзор) / Г.И. Левахин, Г.К. Дускаев, А.С. Ферাপонтова, А.А. Овчинников, И.Н. Миколайчик // Вестник мясного скотоводства. 2015. № 1(89). С. 92-95. [Levakhin GI, Duskaev GK, Ferapontova AS, Ovchinnikov AA, Mikolajchik IN. Role of carbohydrates in digestive process of ruminants. Herald of Beef Cattle Breeding. 2015;1(89):92-95. (In Russ)].
8. Салихов А.А., Косилов В.И. Динамика тканевой структуры туши молодняка чёрнопёстрой породы по возрастным периодам // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 3(47). С. 120-122. [Salikhov AA, Kosilov VI. Dynamics of tissue structure in Black-Spotted young cattle of different age. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2014;3(47):120-122. (In Russ)].

9. Тайгузин Р.Ш., Ляпин О.А., Макаев Ш.А. Использование быков-производителей при создании высокорослого типа казахской белоголовой породы с генотипом генов, контролирующих мясную продуктивность животных // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 3(71). С. 204-207. [Taiguzin RSh, Lyapin OA, Makaev ShA. Using sires with the genotype of genes controlling beef performance to breed Kazakh White-Headed cattle of the tall-type. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2018;3(71):204-207. (*In Russ*)].
10. Чижик И.А. Конституция и экстерьер сельскохозяйственных животных. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Колос, 1979. 376 с. [Chizhik IA. Konstituciya i ekster'er sel'skokozyajstvennyh zhivotnyh. 2-e izd., pererab. i dop. L.: Kolos; 1979:376 p. (*In Russ*)].
11. Chabra A, Tsou D, Clark RT, Gaschen V, Hunziker EB, Mikic B. GDF-5 deficiency in mice delays Achilles tendon healing. *J. Orthoptera Res.* 2003;21:826-835. doi: 10.1016/S0736-0266(03)00049-4
12. Chen X, Zankl A, Niroomand F, Liu Z, Katus HA, Jahn L, Tiefenbacher C. Upregulation of ID protein by growth and differentiation factor 5 (GDF5) through a smad-dependent and MAPK-independent pathway in HUVSMC. *J. Mol. Cell. Cardiol.* 2006;41(1):26-33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.yjmcc.2006.03.421>
13. Coleman CM, Tuan RS. Growth/differentiation factor 5 enhances chondrocyte maturation. *Dev. Dyn.* 2003;228(2):208-216. doi: 10.1002/dvdy.10369
14. Liu Y, Jiao Y, Zan L, Xin Y, Li L, Tian W. Molecular characterization, polymorphism of growth differentiation factor 5 gene and association with ultrasound measurement traits in native Chinese cattle breeds. *African Journal of Biotechnology.* 2010;9(33):5269-5273.
15. Liu YF, Zan LS, Li K, Zhao SP, Xin YP, Lin Q, Tian WQ, Wang ZW. A novel polymorphism of GDF5 gene and its association with body measurement traits in *Bos taurus* and *Bos indicus* breeds. *Mol. Biol. Rep.* 2010;37(1):429-434. doi: 10.1007/s11033-009-9604-5
16. Miyamoto Y, Mabuchi A, Shi DQ, Kubo T, Takatori Y, Saito S, Fujioka M, Sudo A, Uchida A, Yamamoto S, Ozaki K, Takigawa M, Tanaka T, Nakamura Y, Jiang Q, Ikegawa S. A functional polymorphism in the 5' UTR of GDF5 is associated with susceptibility to osteoarthritis. *Nat. Genet.* 2007;39:529-533. doi: <https://doi.org/10.1038/2005>
17. Nakamura T, Yamamoto M, Tamura M, Izumi Y. Effects of growth/ differentiation factor-5 on human periodontal ligament cells. *J. Periodontal Res.* 2003;38(6):597-605. doi: 10.1034/j.1600-0765.2003.00695.x

References

1. Lysenko NG, Kolisnyk AI, Goraichuk IV, Ruban SY, Fedota AM. Association of calpain and calpastatin genes with exterior traits of Aberdeen-Angus. *Factors of experimental evolution of organisms.* 2016;18:111-116.
2. Dubovskova MP, Belousov AM. The sires' category evaluation by the productivity of their progeny depending on the evaluation technique. *Herald of Beef Cattle Breeding.* 2009;1(62):113-122.
3. Kolesnik NN. Methods for determining the types of constitution of animals. *Animal Husbandry.* 1960;3:48-51.
4. Selionova MI, Chizhova LN, Dubovskova MP, Surzhikova ES, Kononova LV, Sharko GN. Polymorphism peculiarities of growth hormone (GH), calpain (CAPN1) genes of beef sires. *Herald of Beef Cattle Breeding.* 2017;2(98):65-72.
5. Gabidulin VM, Alimova SA, Frolov AN, Salikhov AA. Productive traits in genotyped Aberdeen-Angus bull-calves by bGH gene. *Bulletin of the Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.* 2019;4:7 p. Available by: url: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2019-4/Articles/GVM-2019-4.pdf>. doi: 10.24411/2304-9081-2019-14029
6. Amerkhanov KhA, Dunin IM, Sharkaev VI et al. The procedure and conditions for carrying out the assessment of purebred beef cattle. Moscow: FSBSI Rosinformagroteh; 2012:37 p.
7. Levakhin GI, Duskaev GK, Ferapontova AS, Ovchinnikov AA, Mikolajchik IN. Role of carbohydrates in digestive process of ruminants. *Herald of Beef Cattle Breeding.* 2015;1(89):92-95.

8. Salikhov AA, Kosilov VI. Dynamics of tissue structure in Black-Spotted young cattle of different age. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2014;3(47):120-122.
9. Taiguzin RSh, Lyapin OA, Makaev ShA. Using sires with the genotype of genes controlling beef performance to breed Kazakh White-Headed cattle of the tall-type. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2018;3 (71):204-207.
10. Chizhik IA. Constitution and exterior of farm animals. 2nd ed., reprint. and add. L.: Kolos; 1979:376 p.
11. Chabra A, Tsou D, Clark RT, Gaschen V, Hunziker EB, Mikic B. GDF-5 deficiency in mice delays Achilles tendon healing. *J. Orthoptera Res*. 2003;21:826-835. doi: 10.1016/S0736-0266(03)00049-4
12. Chen X, Zankl A, Niroomand F, Liu Z, Katus HA, Jahn L, Tiefenbacher C. Upregulation of ID protein by growth and differentiation factor 5 (GDF5) through a smad-dependent and MAPK-independent pathway in HUVSMC. *J. Mol. Cell. Cardiol*. 2006;41(1):26-33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.yjmcc.2006.03.421>
13. Coleman CM, Tuan RS. Growth/differentiation factor 5 enhances chondrocyte maturation. *Dev. Dyn*. 2003;228(2):208-216. doi: 10.1002/dvdy.10369
14. Liu Y, Jiao Y, Zan L, Xin Y, Li L, Tian W. Molecular characterization, polymorphism of growth differentiation factor 5 gene and association with ultrasound measurement traits in native Chinese cattle breeds. *African Journal of Biotechnology*. 2010;9(33):5269-5273.
15. Liu YF, Zan LS, Li K, Zhao SP, Xin YP, Lin Q, Tian WQ, Wang ZW. A novel polymorphism of GDF5 gene and its association with body measurement traits in *Bos taurus* and *Bos indicus* breeds. *Mol. Biol. Rep*. 2010;37(1):429-434. doi: 10.1007/s11033-009-9604-5
16. Miyamoto Y, Mabuchi A, Shi DQ, Kubo T, Takatori Y, Saito S, Fujioka M, Sudo A, Uchida A, Yamamoto S, Ozaki K, Takigawa M, Tanaka T, Nakamura Y, Jiang Q, Ikegawa S. A functional polymorphism in the 5' UTR of GDF5 is associated with susceptibility to osteoarthritis. *Nat. Genet*. 2007;39:529-533. doi: <https://doi.org/10.1038/2005>
17. Nakamura T, Yamamoto M, Tamura M, Izumi Y. Effects of growth/ differentiation factor-5 on human periodontal ligament cells. *J. Periodontal Res*. 2003;38(6):597-605. doi: 10.1034/j.1600-0765.2003.00695.x

Джуламанов Киниспай Мурзагулович, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции мясного скота, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, сот.:8-987-840-49-28, e-mail: kinispai.d@yandex.ru

Герасимов Николай Павлович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела разведения мясного скота, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, сот.: 8-912-35-89-617, e-mail: nick.gerasimov@rambler.ru

Колпаков Владимир Иванович, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции мясного скота, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)30-81-74, e-mail: vkolpakov056@yandex.ru

Джуламанов Ержан Брэлевич, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции мясного скота, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29

Поступила в редакцию 19 августа 2020 г.; принята после решения редколлегии 14 сентября 2020 г.; опубликована 30 сентября 2020 г. / Received: 19 August 2020; Accepted: 14 September 2020; Published: 30 September 2020