

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 51-61.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2024. Vol. 107, no 1. P. 51-61.

Научная статья
УДК 636.082
doi:10.33284/2658-3135-107-1-51

Динамика весового роста у молодняка казахской белоголовой породы с различным уровнем экспрессии генов соматотропной оси

Николай Павлович Герасимов¹, Альбек Комарович Сангаков²

^{1,2}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹nick.gerasimov@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2295-5150>

²sangakovak@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-9843-4572>

Аннотация. Актуальным вопросом внедрения MAS-селекции в мясное скотоводство является выбор наиболее значимых генов с гарантированным фенотипическим эффектом на рост и развитие мясного скота. Цель исследования состояла в оценке выраженности показателей живой массы и среднесуточного прироста у молодняка казахской белоголовой породы с различным уровнем экспрессии генов соматотропной оси. Бычков (n=28) и тёлочек (n=22) генотипировали по полиморфизмам IGF-1 C422T гена инсулиноподобного фактора роста, GH L127V гена гормона роста и GHR F279Y гена рецептора гормона роста. Получены данные по ассоциации генов соматотропной оси с интенсивностью весового роста у молодняка казахской белоголовой породы. Среди изученных маркеров наибольшее влияние на изменчивость живой массы оказали полиморфизмы IGF-1 C472T и GH L127V. В частности, А-аллель гена IGF-1 в гомозиготном состоянии у тёлочек ассоциировалась с максимальной продуктивностью до годовалого возраста, а в гетерозиготном – у бычков в 15 месяцев. В свою очередь, VV-генотип гена гормона роста связан с повышенной массивностью тела бычков при отъёме и в 12 месяцев, а тёлочек – в 15-месячном возрасте.

Ключевые слова: казахская белоголовая порода, бычки, тёлочки, живая масса, среднесуточный прирост, гены соматотропной оси

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2023-2025 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (FNWZ-2021-0001).

Для цитирования: Герасимов Н.П., Сангаков А.К. Динамика весового роста у молодняка казахской белоголовой породы с различным уровнем экспрессии генов соматотропной оси // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 1. С. 51-61. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-51>

Original article

Dynamics of weight growth in young Kazakh White-Headed breed with different levels of somatotropic axis gene expression

Nikolay P Gerasimov¹, Al'bek K Sangakov²

^{1,2}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹nick.gerasimov@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2295-5150>

²sangakovak@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-9843-4572>

Abstract. The actual problem of MAS selection in beef cattle breeding is the selection of the most significant genes with guaranteed phenotypic effect on growth performance of beef cattle. The aim of the

study was to evaluate the formation of live weight and average daily gain in young Kazakh White-Headed breed with different levels of somatotropic axis gene expression. Bulls (n=28) and heifers (n=22) were genotyped for IGF-1 C422T polymorphisms of the insulin-like growth factor gene, GH L127V of the growth hormone gene, and GHR F279Y of the growth hormone receptor gene. The data on the association of somatotropic axis genes with the growth rate in young animals of the Kazakh White-Headed breed were obtained. IGF-1 C422T and GH L127V polymorphisms had the greatest effect on live weight variability among the markers studied. In particular, the A-allele of the IGF-1 gene in the homozygous state was associated with maximum productivity in heifers up to one year of age, and in the heterozygous state - in bulls at 15 months of age. In turn, the VV genotype of the growth hormone gene is associated with increased body mass in bulls at weaning and at 12 months of age and in heifers at 15 months of age.

Keywords: Kazakh White-Headed breed, bulls, heifers, live weight, average daily gain, somatotropic axis gene

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2023-2025 FSBSI FRC BST RAS (FNWZ-2021-0001).

For citation: Gerasimov NP, Sangakov AK. Dynamics of weight growth in young Kazakh White-Headed breed with different levels of somatotropic axis gene expression. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(1):51-61. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-1-51>

Введение.

Рациональная организация отрасли мясного скотоводства во многом связана с интенсивным использованием животных с высоким генетическим потенциалом продуктивности и своевременной выбраковкой неперспективных особей из стада ради экономии ресурсов (Джуламанов К.М. и др., 2022). В этой связи крайне востребованным направлением повышения конкурентоспособности производства говядины является внедрение инновационных технологий оценки, отбора и прогнозирования хозяйственной ценности мясного скота (Ruchay A et al., 2022). Важным критерием применимости новых методов в племенном деле выступает возможность проведения селекционных мероприятий с наивысшей точностью на более ранних стадиях развития молодняка. Значительное ускорение темпов генетического совершенствования сельскохозяйственных животных способно обеспечить использование молекулярно-биологических маркеров (Амерханов Х.А. и др., 2023). Так, селекционно-племенная работа на основе данных о геноме и фенотипа позволяет повысить эффективность улучшения скота на 15-30 % по сравнению с отбором исключительно по продуктивным качествам (Столповский Ю.А. и др., 2020).

Для мясного скотоводства важным интегральным показателем продуктивности является живая масса. Её изменчивость в процессе роста и развития детерминирована как наследственными, так и паратипическими факторами (Насамбаев Е.Г. и др., 2023). Причём наследование живой массы, как и других количественных признаков, происходит под действием множества генов. Так, по данным Белой Е.В. и др. (2022), отъёмная масса молодняка казахской белоголовой породы обусловлена влиянием 16 SNP высокой значимости, а среднесуточного прироста – 36 SNP. Кроме того, часть полиморфизмов оказывают положительный эффект на выраженность признака, другая часть – отрицательный. Большой массив данных, определяющих генетический потенциал мясной продуктивности крупного рогатого скота, существенно ограничивает внедрение понятной селекционной стратегии с помощью маркеров в практику племенной работы. В связи с этим необходим выбор наиболее значимых генов с гарантированным эффектом на рост и развитие мясного скота. Высоким потенциалом для прикладного использования в скотоводстве отличаются гены соматотропной оси, так как они ассоциированы с важнейшими обменными процессами организма животных (Седых Т.А. и др., 2020; Miroshnikov SA et al., 2021).

Цель исследования.

Оценить выраженность показателей живой массы и среднесуточного прироста у молодняка казахской белоголовой породы с различным уровнем экспрессии генов соматотропной оси.

Материал и методы исследования.

Объект исследования. Бычки (n=28) и телки (n=22) казахской белоголовой породы скота из СПК племзавод «Красный Октябрь» Волгоградской области.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств "Об обращении с животными", ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.), Руководство по работе с лабораторными животными (http://fncbst.ru/?page_id=3553). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Динамику живой массы и среднесуточного прироста молодняка казахской белоголовой породы определяли по результатам ежемесячного взвешивания от рождения до 15-месячного возраста. Содержание поголовья было организовано согласно технологии, принятой в мясном скотоводстве: летом – на пастбище, зимой – в помещениях лёгкого типа с кормлением на выгульной площадке и свободным доступом к воде.

Молодняк генотипировали по полиморфизмам IGF-1 C422T – гена инсулиноподобного фактора роста, *GH L127V* – гена гормона роста и *GHR F279Y* – гена рецептора гормона роста. Для генотипирования у животных проводили забор цельной крови, из которой изолировали ДНК, используя набор «DIAtomtmDNAPrep» (IsoGeneLab). Для проведения ПЦП применяли наборы «GenePakPCRCore» (IsoGeneLab). Генотипирование проводили методом ПЦП-ПДРФ на программируемом термоциклере «Терцик» (ДНК-технология) с использованием праймеров, разработанных в НПФ «Литех»: IGF-1 C422T – F:5'-attacaagctgcctgcccc-3' и R:5'-accttaccggtatgaaaggaatatacgt-3'; *GH L127V* – F: 5'- gctgctcctgagcctcg -3' и R: 5'- gcggcggcacttcacgacct -3', *GHR F279Y* – F: 5'- atatgtagcagtgacaatat -3' и R: 5'- acgttctactgggtgatga -3'.

ПЦП-программа: 1) для полиморфизма IGF-1 C422T: «горячий старт» – 3 мин при +95 °С; 35 циклов: денатурация – 30 с при +95 °С; отжиг – 30 с при +64 °С; синтез – 30 с при +72 °С; достройка – 10 мин при +72 °С;

2) для полиморфизма *GH L127V*: «горячий старт» – 5 мин при +95 °С; 35 циклов: денатурация – 45 с при +94 °С, отжиг – 45 с при +65 °С, синтез – 45 с при +72 °С; достройка – 7 мин при +72 °С;

3) для полиморфизма *GHR F279Y*: «горячий старт» – 5 мин при +95 °С; 35 циклов: денатурация – 30 с при +95 °С, отжиг – 60 с при +60 °С, синтез – 30 с при +72 °С; достройка – 10 мин при +72 °С.

Для рестрикции амплифицированных участков генов использовали рестриктаза: для IGF-1 C422T – *SnaBI*, для *GH L127V* – *AluI*, для *GHR F279Y* – *SspI*.

Расщепление продуктов проводили при +37 °С. Идентификация продуктов для гена инсулиноподобного фактора роста: IGF-1^{CC} – 249 п.н.; IGF-1^{TT} – 223, 26 п.н.; IGF-1^{CT} – 249, 223, 26 п.н.; для гена гормона роста: *GH^{VV}* – 223 п.н.; *GH^{LV}* – 223, 171, 52 п.н.; *GH^{LL}* – 171, 52 п.н.; для гена рецептора гормона роста: *GHR^{YY}* – 182 п.н.; *GHR^{FF}* – 158, 24 п.н.; *GHR^{FY}* – 182, 158, 24 п.н. Полученные продукты разделяли методом горизонтального электрофореза в 1х трис-боратного буфера при напряжении 80 В в 2,5 %-ном агарозном геле с окрашиванием бромистого этидия. После чего гель анализировали в ультрафиолетовом свете на трансиллюминаторе «UVT-1», фотографирование с помощью системы «VITran v.1.0». Определение длины фрагментов проводили с помощью маркера молекулярных масс «GenePakR DNA Ladder M 50» (IsoGene Lab).

Оборудование и технические средства. Взвешивание молодняка производили на платформенных весах «ВСП4-Ж» (Россия). Исследования крови выполнялись на оборудовании лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологий ВНИИОК-филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» (свидетельство ПЖ-77 № 008326 от 18.04.2018 г) и в ЦКП БСТ РАН (<http://цкп-бст.рф>). Для генотипирования использовали пробирки с 600 мкл этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА), набор для выделения ДНК «DIAtomtmDNAPrep» («IsoGeneLab»,

Москва, Россия), наборы для проведения ПЦР «GenePakPCRCore» («IsoGeneLab», Москва, Россия), термоциклер «Терцик» («ДНК-технология», Россия), праймеры (НПФ «Литех», Россия), рестриктазы *SnaBI*, *AluI* и *SspI*, трансиллюминатор «UVT-1», систему «VITran v.1.0», маркер молекулярных масс «GenePakR DNA Ladder M 50» («IsoGene Lab», Москва, Россия).

Статистическая обработка. Анализ данных проводили с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США) по алгоритмам описательной статистики. Определение значимости различий между групповыми средними проводили по Критерию Фишера (F-критерий), при этом критический уровень значимости в данном исследовании принимался $P \leq 0,05$.

Результаты исследований.

Генотипирование молодняка по трём генам соматотропной оси дало возможность определить влияние генотипа на весовой рост как по каждому полиморфизму в отдельности, так и сравнить уровень экспрессии генов на фенотип в возрастном аспекте (табл. 1, 2). Максимальная живая масса при рождении (29,1 кг) отмечалась у бычков с генотипом GHR^{YY}, что превышало минимальный показатель гетерозиготных по гену гормона роста сверстников на 1,3 кг (4,68 %). К 8-месячному возрасту дистанция между крайними вариантами увеличилась до 8,5 кг (3,70 %), при наибольшей массивности особей с генотипом GH^{VV} и наименьшей – у гетерозигот по гену рецептора гормона роста. Таким образом, на величину фенотипической изменчивости весового роста бычков казахской белоголовой породы в подсосный период существенное влияние оказали полиморфизмы GH L127V и GHR F279Y.

Таблица 1. Динамика живой массы бычков в зависимости от полиморфизма IGF-1 C422T, GH L127V и GHR F279Y

Table 1. Dynamics of live weight of bulls depending on IGF-1 C422T, GH L127V and GHR F279Y polymorphisms

Возраст, мес. / Age, months	Живая масса, кг / Live weight, kg		
	IGF-1 C422T		
	AA	AB	BB
При рождении / At birth	29,0±0,63	28,8±0,21	27,9±0,55
8	233,0±8,07	236,1±5,98	233,9±5,76
12	347,7±4,16	353,8±6,30	342,7±6,95
15	433,0±10,77	439,4±5,71 ^a	413,2±9,59 ^a
	GH L127V		
	LL	LV	VV
При рождении / At birth	29,0±0,32 ^a	27,8±0,46 ^a	29,0±0,41
8	235,1±5,01	232,7±6,95	238,5±5,63
12	347,6±5,64	346,1±5,97	358,2±11,01
15	425,8±7,44	429,2±9,60	436,7±8,28
	GHR F279Y		
	FF	FY	YY
При рождении / At birth	28,2±0,46	28,6±0,29	29,1±0,55
8	236,7±5,62	230,0±6,04	237,0±7,90
12	345,7±6,43	348,8±6,78	353,1±6,51
15	421,9±8,58	432,6±8,78	435,3±9,39

Примечание: значения с одинаковыми индексами в строке различаются ^a – $P \leq 0,05$

Note: values with the same indices in the row differ ^a – $P \leq 0.05$

В дальнейшем вариабельность живой массы бычков поддерживалась с участием полиморфизма IGF-1 C422T. Так, минимальная выраженность фенотипа в 12 месяцев регистрировалась у носителей генотипа IGF-1^{BB}, которые уступали на 15,5 кг (4,33 %) сверстникам с генотипом GH^{VV}. В 15-месячном возрасте наибольшая разница (26,2 кг или 6,34 %) по живой массе установлена у гетерозиготных и гомозиготных носителей В-аллеля при полиморфизме IGF-1 C422T.

Анализ данных весового роста тёлочек подтвердил вклад изучаемых полиморфизмов в фенотипическую изменчивость массивности тела (табл. 2). Однако роль гена IGF-1 в вариабельности живой массы была более заметна. Так, в период выращивания до отъёма максимальной и минимальной выраженностью массы тела характеризовались гомозиготные и гетерозиготные носители А-аллеля при полиморфизме IGF-1 C422T соответственно. В 12-месячном возрасте наибольшая разница регистрировалась между генотипами IGF-1^{AA} и GHR^{FF}, которая достигала 16,8 кг (5,69 %) в пользу первых. Но уже к 15 месяцам уровень экспрессии полиморфизма IGF-1 C422T имел промежуточное значение на формирование весового роста тёлочек казахской белоголовой породы. На этом этапе выращивания максимальной живой массой отличались носители генотипа GH^{VV} и наименьшей – у GHR^{FF} при разнице 19,7 кг (5,84 %).

Таблица 2. Динамика живой массы тёлочек в зависимости от полиморфизма IGF-1 C422T, GH L127V и GHR F279Y

Table 2. Dynamics of live weight of heifers depending on IGF-1 C422T, GH L127V and GHR F279Y polymorphisms

Возраст, мес. / Age, months	Живая масса, кг / Live weight, kg		
	IGF-1 C422T		
	AA	AB	BB
При рождении / At birth	27,0±0,32 ^a	25,7±0,26 ^a	26,1±0,40
8	224,4±1,96 ^{a, b}	209,9±4,19 ^a	209,9±4,15 ^b
12	311,8±3,12	298,3±4,23	296,3±5,51
15	350,4±5,78	350,9±4,07	344,6±8,92
	GH L127V		
	LL	LV	VV
При рождении / At birth	26,3±0,33	26,1±0,35	25,7±0,33
8	214,5±3,89	210,6±4,81	216,7±2,96
12	300,2±4,33	299,3±5,13	306,7±5,49
15	342,8±5,32	352,7±5,10	357,0±9,64
	GHR F279Y		
	FF	FY	YY
При рождении / At birth	25,8±0,31	26,3±0,33	26,2±0,48
8	210,7±6,00	212,8±3,38	216,3±5,73
12	295,0±5,56	301,6±4,31	305,0±5,73
15	337,3±6,94	352,8±5,42	353,5±4,11

Примечание: значения с одинаковыми индексами в строке различаются ^{a, b} – P≤0,05

Note: values with the same indices in the row differ ^{a, b} – P≤0.05

Таким образом, полиморфизм в гене инсулиноподобного фактора роста играет существенную роль в вариабельности живой массы тёлочек на ранних стадиях онтогенеза, а у бычков – в более поздних возрастных периодах.

Влияние генетического фактора на интенсивность роста молодняка казахской белоголовой породы в отдельные периоды было различным (табл. 3, 4). При этом на заключительном этапе выращивания оно усиливалось, что свидетельствует о значительном вкладе паратипических факторов в фенотипическую изменчивость среднесуточного прироста на более ранних стадиях развития ор-

ганизма. Так, в подсосный период различия между крайними вариантами выраженности признака у бычков были минимальными и составляли 33,0 г (3,98 %) между генотипами GH^{VV} и GHR^{FY}. За весь послеотъёмный этап выращивания (8-15 мес.) эта разница достигала 113,0 г (13,43 %) среди гетерозиготных и гомозиготных носителей В-аллеля при полиморфизме IGF-1 C422T. Причём, если в начале послеотъёмного периода (8-12 мес.) дистанция между максимальным значением среднесуточного прироста у генотипа GH^{VV} и минимальным у IGF-1^{BB} составляла 89,6 г (10,05 %), то к концу этого технологического этапа (12-15 мес.) она увеличилась до 165,9 г (21,42 %) среди гетерозиготных и гомозиготных носителей В-аллеля при полиморфизме IGF-1 C422T.

Таблица 3. Динамика среднесуточного прироста бычков в зависимости от полиморфизма IGF-1 C422T, GH L127V и GHR F279Y

Table 3. Dynamics of average daily gain of bulls depending on IGF-1 C422T, GH L127V and GHR F279Y polymorphisms

Возраст, мес. / Age, months	Среднесуточный прирост, г / Average daily gain, g		
	IGF-1 C422T		
	AA	AB	BB
0-8	839,5±34,65	852,9±24,26	847,8±23,29
8-12	940,0±69,61	965,2±42,84	891,9±59,48
12-15	937,7±130,70	940,4±61,31	774,5±43,49
8-15	939,2±80,69	954,7±36,98	841,7±44,88
0-15	886,0±23,35	900,5±12,60 ^a	844,9±21,28 ^a
	GH L127V		
	LL	LV	VV
0-8	848,1±20,88	843,4±28,18	862,0±23,99
8-12	922,5±52,12	929,4±46,77	981,5±70,94
12-15	858,7±70,90	913,0±68,83	862,5±49,50
8-15	895,4±47,30	922,3±48,51	930,7±39,62
0-15	870,2±16,29	880,3±20,86	864,0±18,94
	GHR F279Y		
	FF	FY	YY
0-8	858,4±22,45	829,0±25,04	855,4±33,33
8-12	892,9±47,52	973,6±58,86	952,1±60,07
12-15	837,7±44,17	920,6±82,70	902,6±115,90
8-15	869,2±38,81	951,0±52,42	931,1±68,66

Примечание: значения с одинаковыми индексами в строке различаются ^a – P≤0,05

Note: values with the same indices in the row differ ^a – P≤0.05

Особенности детерминации среднесуточного прироста у молодняка казахской белоголовой породы подтвердились на поголовье тёлочек (табл. 4). В подсосный период различия между альтернативными гомозиготными генотипами при полиморфизме IGF-1 C422T составляли 56,3 г (7,45 %), а в послеотъёмный гетерозиготные особи по гену гормона роста превосходили носителей генотипа IGF-1^{AA} на 75,7 г (12,8 %).

Аналогично бычкам более сильное воздействие генетического фактора на динамику среднесуточного прироста тёлочек наблюдалось во второй части послеотъёмного периода (12-15 мес.), что выражалось в существенной разнице величины признака у носителей GH^{VV}-генотипа и сверстниц с IGF-1^{AA} вариантом, которая составляла 161,6 г (38,1 %). В начале этого технологического этапа (8-12 мес.) максимальная разница между отдельными генотипами молодняка достигала лишь 46,7 г (6,76 %), зафиксированная между GH^{VV} и GHR^{FF} особями.

Таблица 4. Динамика среднесуточного прироста тёлочек в зависимости от полиморфизма IGF-1 C422T, GH L127V и GHR F279Y

Table 4. Dynamics of average daily gain of heifers depending on IGF-1 C422T, GH L127V and GHR F279Y polymorphisms

Возраст, мес. / Age, months	Среднесуточный прирост, г / Average daily gain, g		
	IGF-1 C422T		
	AA	AB	BB
0-8	812,3±7,87 ^{a, b}	758,0±16,70 ^a	756,0±16,01 ^b
8-12	716,6±13,27	724,8±9,66	708,6±20,04
12-15	424,4±36,11	578,0±55,46	530,6±64,69
8-15	591,6±22,81	662,1±27,65	632,4±37,95
0-15	709,2±12,85	713,0±9,11	698,1±19,08
	GH L127V		
	LL	LV	VV
0-8	774,5±14,91	759,0±19,03	786,0±10,89
8-12	702,7±12,32	727,8±11,17	738,0±21,73
12-15	468,3±50,85	586,0±58,10	553,0±47,89
8-15	602,4±27,28	667,3±29,20	658,7±32,84
0-15	694,0±11,69	716,0±10,94	726,3±20,54
	GHR F279Y		
	FF	FY	YY
0-8	760,6±24,08	767,5±13,19	782,6±21,81
8-12	691,3±17,15	728,1±11,80	727,0±9,57
12-15	465,5±96,53	562,5±35,87	533,0±64,94
8-15	594,7±49,63	657,4±20,52	644,0±31,35
0-15	683,0±15,47	715,8±11,75	717,8±9,05

Примечание: значения с одинаковыми индексами в строке различаются^{a, b} – P≤0,05
 Note: values with the same indices in the row differ^{a, b} – P≤0,05

Обсуждение полученных результатов.

Эффективность ДНК-маркерной селекции ограничивается полигенным наследованием количественных признаков. Так, Белая Е.В. с коллегами (2023) при полногеномном исследовании бычков казахской белоголовой породы выявили 81 однонуклеотидный полиморфизм, детерминирующие величину среднесуточного прироста. Оценку и отбор молодняка с высоким генетическим потенциалом на основании данных такого количества переменных не представляется возможным в практической племенной работе в мясном скотоводстве. Поэтому поиск наиболее значимых ассоциаций участков генома с продуктивностью имеет высокое прикладное значение. В наших исследованиях изучалась связь весового роста казахского белоголового скота с полиморфизмами генов соматотропной оси, выполняющих ключевую роль в координации белкового и энергетического обменов в постнатальном онтогенезе (Ulyanov VA et al., 2021).

Полиморфизм IGF-1 C422T у крупного рогатого скота связан с фенотипической изменчивостью весового роста и мясной продуктивности, что объясняет его широкое использование в MAS-селекции с мясными породами (Ardicli S et al., 2019). Бейшова И.С. (2018) представила данные о влиянии гена IGF-1 на живую массу коров и тёлочек казахской белоголовой породы, согласно которым носители ВВ-генотипа уступали сверстницам по величине массы тела во все возрастные периоды (12, 18 и 24 месяца). Эти результаты согласуются с нашими исследованиями, подтверждающими ухудшающий эффект гомоготизации В-аллеля на весовой рост бычков и тёлочек казахской белоголовой породы. Причём бычки с генотипом IGF-1^{BB} характеризовались минимальными

показателями живой массы на заключительных этапах выращивания среди всех изученных генотипов. В то время как у тёлочек АА-генотип ассоциировался с максимальной выраженностью признака при рождении, в 8 и 12 месяцев.

Влияние полиморфизма GH L127V на динамику живой массы бычков казахской белоголовой породы отмечали в своей работе Селионова М.И. и Плахтюкова В.Р. (2020). Носители VV-генотипа значительно превосходили по массивности сверстников в 8- и 12-месячном возрасте, что также подтверждено нашими исследованиями на тёлочках и бычках. Кроме того, гомозиготные бычки с V-аллелью проявляли наивысшую продуктивность в 8 и 12 месяцев среди всех вариантов из трёх анализируемых полиморфизмов генов соматотропной оси, у тёлочек данное достижение регистрировалось в 15-месячном возрасте. По данным ассоциативного анализа, проведённым Горловым И.Ф. с коллегами (2023), V-аллель гена гормона роста является предпочтительной для русской комолы, казахской белоголовой и калмыцкой пород.

Использование полиморфизма GHR F279Y для отбора мясного скота с высоким генетическим потенциалом продуктивности обусловлено заметными различиями по величине живой массы у носителей разных генотипов. Об этом свидетельствует работа Nametov AM с коллегами (2022), проведённая на бычках казахской белоголовой породы. Результаты показали убедительное превосходство YY-генотипа по живой массе в 18 и 24 месяца на 7,12-7,37 % относительно FF-сверстников, что позволило выделить Y-аллель в качестве желательной для породы. Однако контрольное выращивание абердин-ангусских бычков под наблюдением Dushayeva LZ с соавторами (2021) не выявило значительных различий по весовому росту между носителями гомозиготных генотипов, которые варьировали в пределах 1,4-1,7 %. Тем не менее наши результаты изучения роста и развития бычков и тёлочек казахской белоголовой породы согласованы с данными предыдущих исследований. Однако полиморфизм GHR F279Y у опытного поголовья не был связан с крайними вариантами выраженности признаков живой массы и среднесуточного прироста среди всех изучаемых генов соматотропной оси.

Заключение.

Получены данные по ассоциации генов соматотропной оси с интенсивностью весового роста у молодняка казахской белоголовой породы. Среди изученных маркеров наибольшее влияние на изменчивость живой массы оказали полиморфизмы IGF-1 C472T и GH L127V. В частности, А-аллель гена IGF-1 в гомозиготном состоянии у тёлочек ассоциировалась с максимальной продуктивностью до годовалого возраста, а в гетерозиготном – у бычков в 15 месяцев. В свою очередь VV-генотип гена гормона роста связан с повышенной массивностью тела бычков при отъёме и в 12 месяцев, а тёлочек – в 15-месячном возрасте.

Список источников

1. Бейшова И.С. Фенотипические эффекты генов соматотропного каскада, ассоциированных с мясной продуктивностью у коров казахской белоголовой породы // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 1. С. 48-53. [Bejshova IS. Phenotypic effects of somatotronogo cascade genes associated with beef productivity of kazakh white-headed breed cows. Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2018;1:48-53. (In Russ.)]. doi: 10.12737/20417
2. Ген HERC3 как генетический маркер среднесуточного прироста у казахского белоголового скота / Е.В. Белая, И.С. Бейшова, М.И. Селионова, В.С. Бирг, К.И. Снагощенко // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. 2023. Т. 59. № 3. С. 43-48. [Belaya EV, Beyshova IS, Selionova MI, Birg VS, Snagoschenko KI. HERC3 gene as a genetic marker of average daily gain in Kazakh White-Headed cattle. Transactions of the educational establishment "Vitebsk the Order of "the Badge of Honor" State Academy of Veterinary Medicine. 2023;59(3):43-48. (In Russ.)]. doi: 10.52368/2078-0109-2023-59-3-43-48

3. Оценка генотипа герефордского скота по племенным и продуктивным качествам / К.М. Джуламанов, А.А. Сафронова, С.А. Платонов, М.А. Кизаев // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2022. № 4(69). С. 63-69. [Dzhulamanov KM, Safronova AA, Platonov SA, Kizaev MA. Assessment of the genotype of Hereford cattle by breeding and productive qualities. Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after VR Philippov. 2022;4(69):63-69 (*In Russ.*). doi: 10.34655/bgsha.2022.69.4.008
4. Полиморфизм гена соматотропного гормона в связи с качеством туш мясного скота / Т.А. Седых, Р.С. Гизатуллин, И.Ю. Долматова, И.В. Гусев, Л.А. Калашникова // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 2. С. 53-57. [Sedykh TA, Gizatullin RS, Dolmatova IYu, Gusev IV, Kalashnikova LA. Growth hormone gene polymorphism in relation to beef cattle carcass quality. Russian Agricultural Sciences. 2020;46(3):289-294. (*In Russ.*). doi: 10.31857/S2500-2627-2020-2-53-57 doi: 10.3103/S1068367420030167
5. Полиморфизм генов GH, MC4R и CAPN1 у южных популяций крупного рогатого скота мясных пород и влияние на живую массу / И.Ф. Горлов, М.И. Сложенкина, Е.Ю. Анисимова, Е.В. Карпенко, К.Е. Бадмаева, В.С. Убушиева // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 3. С. 21-34. [Gorlov IF, Slozhenkina MI, Anisimova EYu, Karpenko EV, Badmaeva KYe, Ubushieva VS. Polymorphism of the GH, MC4R and CAPN1 genes in southern beef cattle populations and their impact on live weight. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(3):21-34. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-106-3-21
6. Полиморфизм генов SCD и FABP4 у мясного скота калмыцкой породы / Х.А. Амерханов, А.И. Клименко, А.Ф. Шевхужев, М.П. Дубовскова, А.А. Каниболоцкая // Молочное и мясное скотоводство. 2023. № 4. С. 9-13. [Amerkhanov KhA, Klimenko AI, Shevkhuzhev AF, Dubovskova MP, Kanibolotskaya AA. Polymorphism of the SCD and FABP4 genes in beef cattle of the Kalmyk breed. Dairy and Beef Cattle Farming. 2023;4:9-13 (*In Russ.*) . doi: 10.33943/MMS.2023.69.77.002
7. Полногеномный поиск QLT-ассоциированных SNP для прогнозирования наследственного потенциала продуктивности у казахского белоголового скота / Е.В. Белая, И.С. Бейшова, М.И. Селионова, Р.С. Шулинский, Т.В. Ульянова // Вестник АПК Ставрополя. 2022. № 3(47). С. 18-25. [Belaya EV, Beishova IS, Selionova MI, Shulinski RS, Ulyanova TV. Genome-wide search for QLT-associated SNPs to predict the hereditary potential of productivity in Kazakh White-Headed Cattle. Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2022;3(47):18-25. (*In Russ.*). doi: 10.31279/2222-9345-2022-11-47-18-25
8. Рост и развитие молодняка аулиекольской породы / Е.Г. Насамбаев, А.Б. Ахметалиева, А.Е. Нугманова, Е.А. Батыргалиев, Р.М. Кулбаев, Р.Ф. Третьякова, Х.А. Амерханов, И.М. Дунин // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 80-90. [Nasambayev EG, Akhmetalieva AB, Nugmanova AE, Batyrgaliev EA, Kulbayev RM, Tretiyakova RF, Amerkhanov HA, Dunin IM. Growth and development of young animals of Auliekol breed. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(4):80-90. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-106-4-80
9. Селионова М.И., Плахтокова В.Р. Мясная продуктивность бычков казахской белоголовой породы разных генотипов по генам CAPN1 и GH // Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 4. С. 9-12. [Selionova MI, Plakhtyukova VR. Meat productivity of Kazakh White-Headed steers of different genotypes by genes CAPN1 and GH. Dairy and Beef Cattle Farming. 2020;4:9-12. (*In Russ.*). doi: 10.33943/MMS.2020.96.35.003
10. Столповский Ю.А., Пискунов А.К., Свищева Г.Р. Геномная селекция. I. Последние тенденции и возможные пути развития // Генетика. 2020. Т. 56. № 9. С. 1006-1017. [Stolpovsky YA, Piskunov AK, Svishcheva GR. Genomic selection. I: Latest trends and possible ways of development. Russian Journal of Genetics. 2020;56(9):1006-1017. (*In Russ.*). doi: 10.31857/S0016675820090143
11. Ardicli S, Samli H, Vatansever B, Soyudal B, Dincel D, Balci F. Comprehensive assessment of candidate genes associated with fattening performance in Holstein-Friesian bulls. Arch Anim Breed. 2019;62(1):9-32. doi: 10.5194/aab-62-9-2019
12. Dushayeva LZ, Nametov AM, Beishova IS, Kovalchuk AM, Belaya AV, Ulyanova TV, Tagirov KK, Yuldashbayev YA. Marking of meat productivity features in pairs of bGH, bGHR and bIGF-

1 polymorphic genes in Aberdeen-Angus cattle. *OnLine Journal of Biological Sciences*. 2021;21(2):334-345. doi: 10.3844/ojbsci.2021.334.345

13. Miroshnikov SA, Kharlamov AV, Frolov AN, Zavyalov OA. Influence of growth hormone gene polymorphism on the productive qualities and the level of toxic elements in the hair of Kalmyk breed calves. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;624:012024. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012024

14. Nametov AM, Beishova IS, Belaya AV, Ulyanova TV, Kovalchuk AM, Nasambayev Ye, Abylgazinova AT, Batyrgaliev YeA, Murzabayev KE, Dushayeva LZh, Ginayatov NS. Determination of diplotypes associated with meat productivity in cattle breeds common in the territory of the Republic of Kazakhstan. *OnLine Journal of Biological Sciences*. 2022;22(3):287-298. doi: 10.3844/ojbsci.2022.287.298

15. Ruchay A, Kober V, Dorofeev K, Kolpakov V, Dzhulamanov K, Kalschikov V, Guo H. Comparative analysis of machine learning algorithms for predicting live weight of Hereford cows. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022;195:106837. doi: 10.1016/j.compag.2022.106837

16. Ulyanov VA, Kubekova BZ, Beishova IS, Belaya AV, Papusha NV. Preferred and undesirable genotypes of bGH and bIGF-1 genes for the milk yield and quality of black-and-white breed. *Veterinary World*. 2021;14(5):1202-1209. doi: 10.14202/vetworld.2021.1202-1209

References

1. Bejshova IS. Phenotypic effects of somatotropin cascade genes associated with beef productivity of Kazakh white-headed breed cows. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2018;1:48-53. doi: 10.12737/20417

2. Belaya EV, Beyshova IS, Selionova MI, Birg VS, Snagoschenko KI. HERC3 gene as a genetic marker of average daily gain in Kazakh White-Headed cattle. *Transactions of the educational establishment "Vitebsk the Order of "the Badge of Honor" State Academy of Veterinary Medicine*. 2023;59(3):43-48. doi: 10.52368/2078-0109-2023-59-3-43-48

3. Dzhulamanov KM, Safronova AA, Platonov SA, Kizaev MA. Assessment of the genotype of Hereford cattle by breeding and productive qualities. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov*. 2022;4(69):63-69. doi: 10.34655/bgsha.2022.69.4.008

4. Sedykh TA, Gizatullin RS, Dolmatova IYu, Gusev IV, Kalashnikova LA. Growth hormone gene polymorphism in relation to beef cattle carcass quality. *Russian Agricultural Sciences*. 2020;46(3):289-294. doi: 10.31857/S2500-2627-2020-2-53-57 doi: 10.3103/S1068367420030167

5. Gorlov IF, Slozhenkina MI, Anisimova EYu, Karpenko EV, Badmaeva KYe, Ubushieva VS. Polymorphism of the GH, MC4R and CAPN1 genes in southern beef cattle populations and their impact on live weight. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(3):21-34. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-21

6. Amerkhanov KhA, Klimenko AI, Shevkhezhev AF, Dubovskova MP, Kanibolotskaya AA. Polymorphism of the SCD and FABP4 genes in beef cattle of the Kalmyk breed. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2023;4:9-13. doi: 10.33943/MMS.2023.69.77.002

7. Belaya EV, Beishova IS, Selionova MI, Shulinski RS, Ulyanova TV. Genome-wide search for QLT-associated SNPs to predict the hereditary potential of productivity in Kazakh White-Headed Cattle. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2022;3(47):18-25. doi: 10.31279/2222-9345-2022-11-47-18-25

8. Nasambayev EG, Akhmetalieva AB, Nugmanova AE, Batyrgaliev EA, Kulbayev RM, Tretiyakova RF, Amerkhanov HA, Dunin IM. Growth and development of young animals of Auliekol breed. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):80-90. doi: 10.33284/2658-3135-106-4-80

9. Selionova MI, Plakhtyukova VR. Meat productivity of Kazakh White-Headed steers of different genotypes by genes CAPN1 and GH. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2020;4:9-12. doi: 10.33943/MMS.2020.96.35.003

10. Stolpovsky YA, Piskunov AK, Svishcheva GR. Genomic selection. I: Latest trends and possible ways of development. Russian Journal of Genetics. 2020;56(9):1006-1017. doi: 10.31857/S0016675820090143
11. Ardicli S, Samli H, Vatansever B, Soyudal B, Dincel D, Balci F. Comprehensive assessment of candidate genes associated with fattening performance in Holstein-Friesian bulls. Arch Anim Breed. 2019;62(1):9-32. doi: 10.5194/aab-62-9-2019
12. Dushayeva LZ, Nametov AM, Beishova IS, Kovalchuk AM, Belaya AV, Ulyanova TV, Tagirov KK, Yuldashbayev YA. Marking of meat productivity features in pairs of bGH, bGHR and bIGF-1 polymorphic genes in Aberdeen-Angus cattle. OnLine Journal of Biological Sciences. 2021;21(2):334-345. doi: 10.3844/ojbsci.2021.334.345
13. Miroschnikov SA, Kharlamov AV, Frolov AN, Zavyalov OA. Influence of growth hormone gene polymorphism on the productive qualities and the level of toxic elements in the hair of Kalmyk breed calves. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;624:012024. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012024
14. Nametov AM, Beishova IS, Belaya AV, Ulyanova TV, Kovalchuk AM, Nas-sambayev Ye, Abylgazinova AT, Batyrgaliev YeA, Murzabayev KE, Dushayeva LZ, Ginayatotov NS. Determination of diplotypes associated with meat productivity in cattle breeds common in the territory of the Republic of Kazakhstan. OnLine Journal of Biological Sciences. 2022;22(3):287-298. doi: 10.3844/ojbsci.2022.287.298
15. Ruchay A, Kober V, Dorofeev K, Kolpakov V, Dzhulamanov K, Kalschikov V, Guo H. Comparative analysis of machine learning algorithms for predicting live weight of Hereford cows. Computers and Electronics in Agriculture. 2022;195:106837. doi: 10.1016/j.compag.2022.106837
16. Ulyanov VA, Kubekova BZ, Beishova IS, Belaya AV, Papusha NV. Preferred and undesirable genotypes of bGH and bIGF-1 genes for the milk yield and quality of black-and-white breed. Veterinary World. 2021;14(5):1202-1209. doi: 10.14202/vetworld.2021.1202-1209

Информация об авторах:

Николай Павлович Герасимов, доктор биологических наук, старший научный сотрудник селекционно-генетического центра по мясным породам скота, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел: 8-912-358-96-17.

Альбек Комарович Сангаков, аспирант селекционно-генетического центра по мясным породам скота, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29.

Information about the authors:

Nikolay P Gerasimov, Dr. Sci. (Biology), Senior Researcher, Breeding and Genetic Center for Beef Cattle Breeds, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-912-358-96-17.

Al'bek K Sangakov, postgraduate student of Breeding and Genetic Center for Beef Cattle Breeds, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000.

Статья поступила в редакцию 20.02.2024; одобрена после рецензирования 06.03.2024; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 20.02.2024; approved after reviewing 06.03.2024; accepted for publication 18.03.2024.