

Оценка продуктивных качеств и элементного статуса бычков калмыцкой породы различных генотипов по гену гормона роста

Алексей Николаевич Фролов¹, Олег Александрович Завьялов², Анатолий Васильевич Харламов³,

Ирина Николаевна Сычева⁴, Ирина Евгеньевна Быстренина⁵

^{1,2,3}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

^{4,5}Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

forleh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4525-2554>

²oleg-zavyalov83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2033-3956>

³harlamov52@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9477-6568>

⁴in_sychewa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3784-0508>

⁵iesh@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5424-691X>

Аннотация. В статье представлена оценка продуктивных качеств и элементного статуса бычков калмыцкой породы различных генотипов, находящихся на территории Оренбургской области (Россия), по гену гормона роста. Для определения полиморфных групп был произведен отбор проб крови (n=100), из которой выделялись образцы геномной ДНК с использованием набора реагентов «ДНК-Экстрап». Полимеразную цепную реакцию проводили на амплификаторе АНК-32, результаты которой показали, что в стаде бычков калмыцкой породы частота встречаемости животных с генотипом СС по гену гормона роста составляет 62,0 %. тогда как CG – 26,0 % и GG – 12,0 %. Изучение продуктивных качеств показало, что бычки с генотипом СС, начиная с 6-месячного возраста, заметно превосходили сверстников с генотипами CG и GG по живой массе на 7,0 и 5,0 %. в 8 месяцев – 7,4 и 5,7 % и в 14 месяцев – 9,0 и 5,0 % соответственно. А также превосходили по промерам: высоте в холке, в крестце, ширине и глубине груди.

Определение основных и токсичных элементов в шерсти с холки проведено методами атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии, результаты которой показали, что в шерсти бычков с генотипом СС была выше концентрация: Ca, K, Na, Co, Cr, Cu, J, Se, B, Si, Li, V в сравнении с генотипом CG; Ca, K, Na, J, Se, B, Li – с GG. Оценка суммарной токсической нагрузки организма бычков в зависимости от полиморфизма гена гормона роста, рассчитанная по сумме мкмоль элементов Al, Cd, Pb, Sn, Hg, Sr показала, что у животных с генотипом СС меньше накапливалось токсичных веществ на 52,4 и 63,1 % по сравнению со сверстниками с генотипами CG и GG соответственно.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, бычки, ген, SNP, GH, интенсивность роста, элементный статус, Оренбургская область

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2021-2023 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0006).

Для цитирования: Оценка продуктивных качеств и элементного статуса бычков калмыцкой породы различных генотипов по гену гормона роста / А.Н. Фролов, О.А. Завьялов, А.В. Харламов, И.Н. Сычева, И.Е. Быстренина // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 1. С. 62-73. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-1-62>

PRODUCTION TECHNOLOGY, QUALITY AND ECONOMY IN BEEF CATTLE BREEDING

Original article

Evaluation of productive traits and elemental status in Kalmyk bull-calves of various genotypes by growth hormone gene

Alexey N Frolov¹, Oleg A Zavyalov², Anatoly V Kharlamov³, Irina N Sycheva⁴, Irina E Bystrenina⁵

^{1,2,3}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

^{4,5}Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

forleh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4525-2554>

²oleg-zavyalov83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2033-3956>

³harlamov52@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9477-6568>

⁴in_sychewa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3784-0508>

⁵iesh@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5424-691X>

Abstract. The article presents an evaluation of productive traits and elemental status in Kalmyk bull-calves of various genotypes of growth hormone gene located on the territory of Orenburg region (Russia). Blood samples were taken (n=100) to determine the polymorphic groups and then the genomic

DNA were isolated using the “DNA-Extran” reagent kit. Polymerase chain reaction was carried out on an ANK-32 amplifier, as a result of genotyping for the growth hormone gene in the herd of Kalmyk bull-calves the genetic frequency of animals with CC genotype was 62.0 %, while CG was 26.0 % and GG was 12.0 %. The study of productive traits showed that since the age of 6 months bull-calves with CC genotype significantly exceeded their peers with the CG and GG genotypes in live weight by 7.0 and 5.0%, at 8 months - 7.4 and 5.7 % and at 14 months - 9.0 and 5.0%, respectively. And they were also superior in measurements: withers and hip height, chest width and depth.

The methods of atomic emission and mass spectrometry were used to determine the content of main and toxic elements in the wool from the withers. The results showed that the concentration of Ca, K, Na, Co, Cr, Cu, J, Se, B, Si, Li, V in the wool from bull-calves with CC genotype were higher compared with CG genotype; and Ca, K, Na, J, Se, B, Li - with GG. Оценка суммарной токсической нагрузки организма бычков в зависимости от полиморфизма гена гормона роста, рассчитанная по сумме ммолей элементов Al, Cd, Pb, Sn, Hg, Sr показала, что у животных с генотипом CC меньше накапливалось токсичных веществ на 52,4 и 63,1 % по сравнению со сверстниками с генотипами CG и GG соответственно. An evaluation of the total toxic load of bulls' organism depending on polymorphism of growth hormone gene was calculated from the sum of mmol of elements Al, Cd, Pb, Sn, Hg, Sr. Animals with CC genotype accumulated less toxic substances by 52.4 and 63.1 % compared with peers with CG and GG genotypes, respectively.

Keywords: cattle, bull-calves, gene, SNP, GH, growth rate, elemental status, Orenburg region

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2021-2023 FSBRI FRC BST RAS (No. 0761-2019-0006).

For citation: Frolov AN, Zavyalov OA, Kharlamov AV., Sycheva IN, Bystrenina IE. Evaluation of productive traits and elemental status in Kalmyk bull-calves of various genotypes by growth hormone gene. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2022;105(1):62-73. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-1-62> (In Russ.).

Введение.

Благодаря развитию методов молекулярной генетики на основе ДНК-маркирования и выявления перспективных однонуклеотидных полиморфизмов, связанных с продуктивными показателями, появилась возможность быстрого генетического совершенствования мясного скота по улучшению мясных качеств (Schenkel FS et al., 2004; Djari A et al., 2013).

Использование ДНК-маркеров в популяции коммерческих животных необходимо для идентификации генов, лежащих в основе количественных признаков. Исследование генетических полиморфизмов позволяет проводить целенаправленный отбор с улучшенными показателями по интенсивности роста, эффективности использования корма, качества туш и т. д. (Ge W et al., 2003; Cheong HS et al., 2006; Casas E et al., 2007; Pannier L et al., 2010).

Процесс роста животных регулируется множеством физиологических факторов, среди которых гены, которые действуют в соматотропной оси, ответственные за постнатальный рост, главный из которых – ген гормона роста (Sellier P, 2000; Pereira AP et al., 2005).

Ген бычьего гормона роста (bGH) локализован на 19 хромосоме и включает 5 экзонов и 4 интрана, кодирующих 217 аминокислот (Miller WL et al., 1980; Lee JH et al., 2013). Его продукт, гормон роста, секретируется в соматотропных или ацидофильных клетках передней доли гипофиза млекопитающих. Гормон регулирует экспрессию многих генов, включая ген, кодирующий инсулиноподобный фактор роста I (IGF-I), и влияет на здоровье, выработку молока, скорость роста, включая кости, мышцы и жировую ткань (Boyd RD and Bauman DE, 1989; Sumantran VN et al., 1992; Lincoln DT et al., 1995; Ge W et al., 2003). В связи с этим представляется актуальным исследование, включающее детальное изучение продуктивных качеств и особенностей минерального обмена в организме животных на основе изучения концентраций химических элементов в шерсти как интегрального показателя обменных пулов в органах и тканях организма животного в зависи-

ности от полиморфизма гена гормона роста. Использование шерсти в качестве критерия оценки элементного статуса определяется как тесной связью между уровнями химических элементов в крови (Patra RC et al., 2006; Pavlata L et al., 2011), так и информативностью шерсти в качестве долгосрочного параметра для оценки состояния минерального обмена организма (Combs DK, 1987; Pieper L et al., 2016).

Цель исследования.

Оценка влияния полиморфизма гена bGH (rs135322669) на продуктивные качества и элементный статус бычков калмыцкой породы.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Бычки калмыцкой породы.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (1987 г.; Приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных») и «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals» (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Исследование проведено в условиях СПК колхоз «Красногорский» Оренбургской области. Для выявления однонуклеотидного полиморфизма (SNP) гормона роста (C/G, rs135322669) у бычков калмыцкой породы в возрасте 12 месяцев (n=100) произведен отбор проб крови утром до кормления и поения. Кровь брали из хвостовой вены на уровне средней трети тела 2-5 хвостовых позвонков в вакуумные пробирки.

Изучение интенсивности роста исследуемых животных с рождения до 14-месячного возраста осуществляли на основании индивидуальных ежемесячных взвешиваний. Развитие изучалось на основании данных взятия промеров: высота в холке, высота в крестце, ширина груди, глубина груди, длина туловища, ширина в крестце в 14-месячном возрасте.

Отбор проб шерсти производился по ранее разработанной методике (Miroshnikov S et al., 2015) у 12 голов из каждой выявленной группы животных (CC, CG, GG) при помощи беспроводной машинки Heiniger Saphir.

Отбор и исследование проб крови. Образцы ДНК получали из цельной крови. Выделение геномной ДНК проводили в соответствии с инструкцией коммерческого набора «ДНК-Экстрон-1». Качество и количество нуклеиновой кислоты измеряли с помощью спектрофотометра nanodrop ND-1000. Геномная ДНК каждого животного хранилась при температуре -20 °C.

Праймеры были разработаны на основе опубликованных последовательностей bGH (GenBank Accession NOS. M57764) с использованием программного обеспечения Primer3 (www.genome.wi.mit.edu). Нуклеотидная последовательность праймера для гена bGH (rs135322669) использована на основании исследований (Howard T, 2013); место расположения – 47-558 п. н.; последовательность праймера: (F)GGGGGTATGAGAAGCTGAAGGACCTG, (R)CAGGAGCTGGAAGATGGCACGACAC.

ПЦР в реальном времени проводили на программируемом амплификаторе АНК-32 в объеме реакционной смеси 25 мкл, содержащей 60 мМ трис-HCl (pH – 8,5), 1,5 мМ MgCl₂, 25 мМ KCl, 10 мМ меркаптоэтанол; 0,1 мМ тритон X-100; 0,2 мМ дНТФ, 1 ед. Таq ДНК полимеразы, по 0,5 мКМ каждого из праймеров.

Амплификацию SNP гена GH-H1 проводили по режиму: +95 °C - 120 с×1, +63 °C - 40 с×40, +95 °C - 20 с×40.

Исследование образцов шерсти. Озоление биосубстратов проводили с использованием микроволновой системы разложения MD-2000 (США). Оценка содержания элементов в полученной золе осуществлялась с использованием масс-спектрометра Elan 9000 (Perkin Elmer, США) и атомно-эмиссионного спектрометра Optima 2000 V (Perkin Elmer, США). Элементный состав биосубстратов исследовали по 25 показателям (Al, As, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, I, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, Hg, Sr, V, Zn).

Оборудование и технические средства. Элементный состав шерсти определяли методами атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии (АЭС-ИСП и МС-ИСП) в испытательной лаборатории АНО «Центр биотической медицины», г. Москва (Registration Certificate of ISO 9001: 2000, Number 4017 – 5.04.06). Исследования по выявлению полиморфизма гена bGH выполнены в ЦКП БСТ РАН <http://цкп-бст.рф>. Беспроводная машинка Heiniger Saphir (Швейцария), спектрофотометр nanodrop ND-1000 (Thermo Scientific, США). Промеры брали мерной палкой Лидтина, циркулем Вилькенса и мерной лентой.

Статистическая обработка. Для проверки гипотезы о нормальности распределения количественных признаков применяли критерий Шапиро-Уилка. Закон распределения исследуемых числовых показателей не отличался от нормального, поэтому достоверность различий проверяли с помощью общепринятого параметрического метода (t- критерий Стьюдента). Во всех процедурах статистического анализа рассчитывали достигнутый уровень значимости (P), при этом критический уровень значимости в данном исследовании принимался меньшим или равным 0,05. Для обработки данных использовали пакет прикладных программ «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). В таблицах приведены средние значения показателей (M) и их стандартные отклонения (\pm STD).

Результаты исследований.

Выявление SNP (rs135322669) в гене bGH показало три генотипа «мутации C>G» (рис. 1).

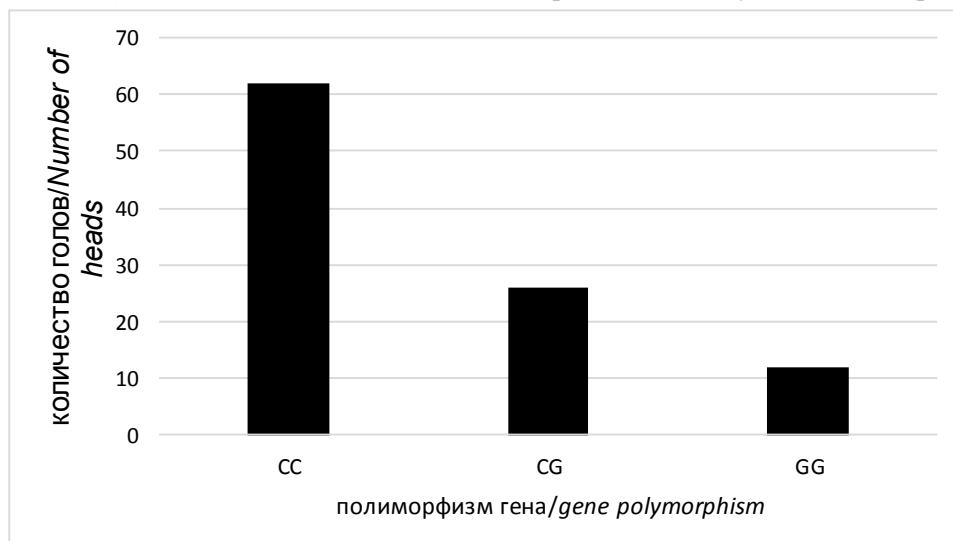


Рис. 1 – Частота встречаемости генотипов по маркеру bGH, гол.
Figure 1 – Genetic frequencies in bGH marker, heads

Частота встречаемости аллелей CC в выборке составила 62,0 %, CG – 26,0 и GG – 12,0 % ($\chi^2_{\text{ЭМП}}=39,924$, χ^2 тест=5,99 ($P\leq 0,05$), при частоте аллелей C=0,75; G=0,25).

Изучение продуктивных качеств бычков по интенсивности роста выявило существенные различия между сравниваемыми генотипами (табл. 1).

Таблица 1. Изменение живой массы бычков разных генотипов по гену bGH, кг (M±STD)

Table 1. Live weight variability in bull-calves of different genotypes of bGH gene, kg (M±STD)

Возрастной период, мес. / Age period, months	Генотип / Genotype		
	CC (n=62)	CG (n=26)	GG (n=12)
При рождении / At birth	26,8±2,01	26,7±1,63	26,3±1,67
3	96,2±7,05	93,4±5,65	92,1±4,96
6	170,9±9,30	162,8±9,06 ^a	159,7±8,21 ^b
8	225,7±13,17	213,6±12,43 ^a	210,2±11,97 ^b
10	280,4±14,25	266,3±13,94 ^a	260,1±13,21 ^b
12	336,6±16,31	332,1±15,96 ^a	310,4±15,72 ^{bc}
14	396,8±18,67	378,0±17,20 ^a	364,1±16,69 ^{bc}

Примечание: ^a – CG по отношению CC, P≤0,05;^b – GG по отношению CC, P≤0,05;^c – GG по отношению CG, P≤0,05Note: ^a – CG compared with CC, P≤0.05;^b – GG compared with CC, P≤0.05;^c – GG compared with CG, P≤0.05;

Бычки с генотипом CC, начиная с 6-месячного возраста, заметно превосходили сверстников с генотипами CG и GG по живой массе. Так, в возрасте 6 месяцев их превосходство составляло 7,0 (P≤0,01) и 5,0 % (P≤0,05), в 8 месяцев – 7,4 % (P≤0,01) и 5,7 % (P≤0,05), в 12 месяцев – 8,4 % (P≤0,001) и 4,5 % (P≤0,05), и в 14 месяцев – 9,0 (P≤0,001) и 5,0 (P≤0,01) % соответственно.

Животные одинаковой живой массы зачастую имеют различные параметры тела, определение которых позволяет вести целенаправленный селекционный отбор. В нашем исследовании особенности формирования экстерьера бычков изучались в зависимости от полиморфизма в гене bGH (табл. 2).

Таблица 2. Связь полиморфизма гена bGH с промерами тела бычков в возрасте 14 месяцев, см

Table 2. Association of polymorphism in bGH gene with body measurements in bull-calves at the age of 14 months, cm

Промер / Measurements	Генотип / Genotype		
	CC (n=62)	CG (n=26)	GG (n=12)
Высота в холке / Weathers high	120,2±2,75	118,9±3,18	117,4±2,48 ^a
Высота в крестце / Hip height	123,3±2,59	121,7±2,83	120,8±2,05 ^a
Длина туловища / Body length	141,4±3,72	140,4±3,80	139,3±3,14
Глубина груди / Chest depth	61,1±1,32	60,3±1,47	59,2±1,20 ^a
Ширина груди / Chest width	40,1±1,43	39,1±1,24	38,2±1,32 ^{ab}
Ширина в крестце / Sacrum width	43,4±1,70	42,2±1,82	41,1±1,20 ^a

Примечание: ^a – GG по отношению CC, P≤0,05;^b – GG по отношению CG, P≤0,05Note: ^a – GG compared with CC, P≤0.05;^b – GG compared with CG, P≤0.05

Бычки с генотипом GG уступали сверстникам с генотипом CC как по высотным промерам: высоте в холке – соответственно на 2,3 % (P≤0,01), в крестце – на 2,0 % (P≤0,01), так и широтным промерам: ширине груди – на 4,7 % (P≤0,001), ширине в крестце – на 5,3 % (P≤0,001), глубине груди – на 3,1 % (P≤0,001), генотипу CG – только по ширине груди на 2,3 % (P≤0,05).

Сравнительная оценка химического состава шерсти бычков калмыцкой породы выявила значительную разницу в концентрациях элементов в зависимости от полиморфизма в гене bGH (табл. 3).

Таблица 3. Концентрация химических элементов в шерсти бычков разных генотипов, мг/кг (M±STD)

Table 3. Chemical elements concentration in wool from bull-calves with different genotype, mg/kg (M±STD)

Элемент / Element	Генотип / Genotype		
	CC	CG	GG
Макроэлементы / Macroelements			
Кальций / Calcium	4356±627	3012±871 ^a	3399±602 ^b
Калий / Potassium	6764±1145	3291±2136 ^a	2650±882 ^b
Магний / Magnesium	813,1±244,4	602,9±354,3	695,6±139,1
Натрий / Natrium	1846,08±272,02	998,92±408,80 ^a	879,83±202,79 ^b
Фосфор / Phosphorus	242,17±55,83	241,58±52,64	279,92±53,74
Эссенциальные микроэлементы / Essential microelements			
Кобальт / Cobalt	0,40±0,05	0,28±0,17 ^a	0,51±0,21 ^c
Хром / Chromium	2,96±1,04	1,83±1,26 ^a	2,51±0,69
Медь / Cuprum	11,68±1,21	10,29±1,65 ^a	13,04±1,43 ^{bc}
Железо / Iron	697,0±167,1	444,4±229,9 ^a	480,5±169,3 ^b
Йод / Iodine	1,16±0,15	0,87±0,12 ^a	0,87±0,05 ^b
Марганец / Manganese	55,60±20,10	39,81±19,97	56,23±7,40 ^c
Селен / Selenium	0,61±0,017	0,523±0,060 ^a	0,518±0,051 ^b
Цинк / Zinc	117,4±9,5	111,5±10,8	119,1±14,4
Токсичные микроэлементы / Toxic microelements			
Алюминий / Aluminum	233,8±86,2	498,3±65,4 ^a	643,4±53,3 ^{bc}
Стронций / Strontium	19,47±5,41	16,86±6,35	18,69±3,62
Свинец / Plumbum	0,235±0,081	0,370±0,040 ^a	0,483±0,060 ^{bc}
Олово / Tin	0,013±0,008	0,012±0,009	0,017±0,005
Кадмий / Cadmium	0,03±0,01	0,02±0,01	0,04±0,01 ^c
Ртуть / Mercury	0,012±0,007	0,028±0,005 ^a	0,022±0,008 ^{bc}

Примечание: ^a – CG по отношению CC, P≤0,05;

^b – GG по отношению CC, P≤0,05;

^c – GG по отношению CG, P≤0,05

Note: ^a – CG compared with CC, P≤0.05;

^b – GG compared with CC, P≤0.05;

^c – GG compared with CG, P≤0.05

Так, в шерсти животных с генотипом CC больше содержалось Ca, K, Na, Co, Cr, Cu, J, Se, B, Si, Li, V по сравнению с генотипом CG и Ca, K, Na, J, Se, B, Li – в сравнении с генотипом GG, многие из которых являются активаторами тканевых обменных процессов, питания, регуляции роста и дифференцировки клеток.

Полиморфизм гена с CC к GG сопровождался накоплением токсичных элементов: Al, Pb, Hg. Причём различия по отдельным элементам превышали 100 % (рис. 2).

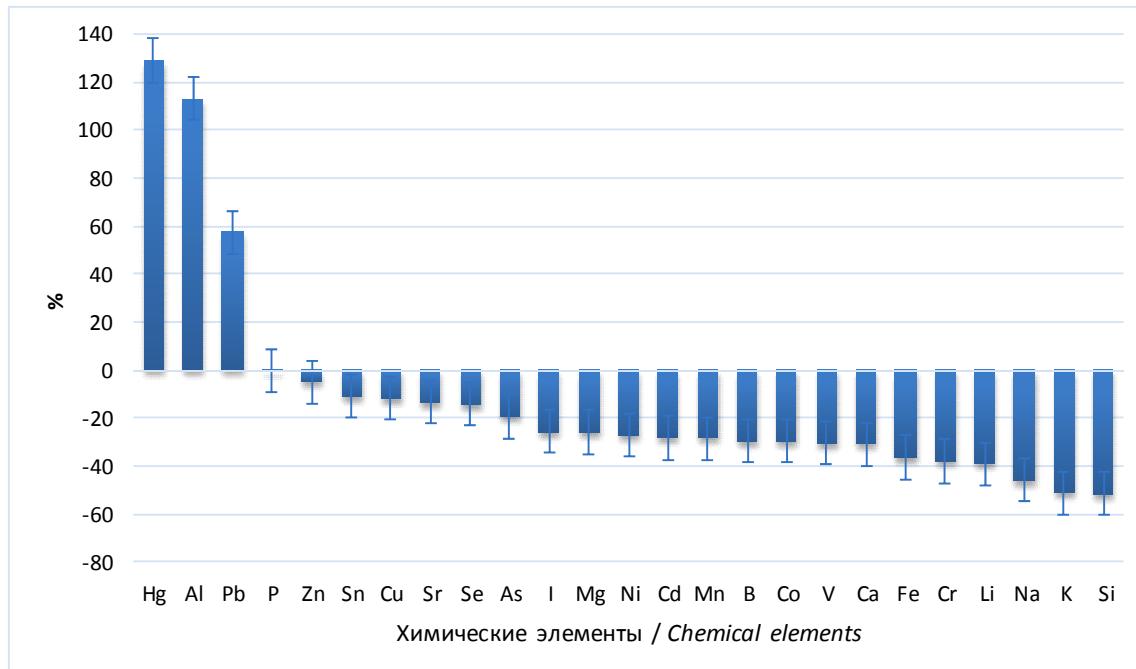


Рис. 2 – Элементный профиль бычков калмыцкой породы с генотипом CG относительно CC, %
 Figure 2 – Elemental profile of Kalmyk bull-calves with genotype CG relative to CC, %

Так, в шерсти бычков с генотипом CG больше содержалось Hg на 129,2 % ($P \leq 0,001$), Al – на 113,1 % ($P \leq 0,001$), Pb – на 57,4 % ($P \leq 0,001$), при меньшей концентрации Ca – на 30,8 % ($P \leq 0,001$), K – на 51,3 % ($P \leq 0,001$), Na – на 45,9 % ($P \leq 0,001$), Co – на 29,7 % ($P \leq 0,05$), Cr – на -38,1 % ($P \leq 0,05$), Cu – на -11,8 % ($P \leq 0,05$), Fe – на 36,2 % ($P \leq 0,01$), I – на 25,4 % ($P \leq 0,001$), Se – на 14,2 % ($P \leq 0,001$), B – на 29,7 % ($P \leq 0,001$), Si – на 51,4 % ($P \leq 0,05$), Li – на 39,0 % ($P \leq 0,001$), V – на 30,5 % ($P \leq 0,05$) по сравнению с CC.

Сходными были различия по элементному составу шерсти с холки у животных с генотипами CC и GG (рис. 3).

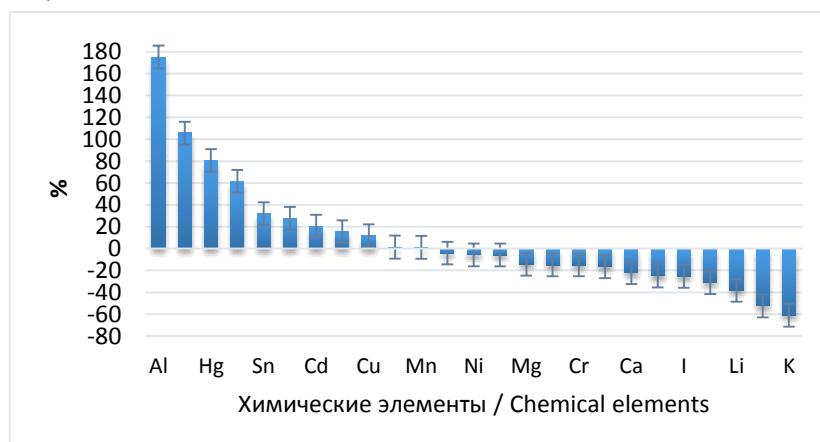


Рис. 3 – Элементный профиль бычков калмыцкой породы с генотипом GG относительно CC, %
 Figure 3 – Elemental profile of Kalmyk bull-calves with genotype GG relative to CC, %

Установлено, что для бычков с гомозиготным генотипом G была характерна повышенная концентрация Al – на 175,2 % ($P \leq 0,001$), Pb – на 105,7 % ($P \leq 0,001$), Hg – на 80,6 % ($P \leq 0,01$), As – на 61,4 % ($P \leq 0,001$), Cu – на 11,7 % ($P \leq 0,05$), при сниженной концентрации Se – на 15,0 % ($P \leq 0,001$), Ca – на 22,0 % ($P \leq 0,001$), B – на 25,0 % ($P \leq 0,001$), I – на 25,4 % ($P \leq 0,001$), Fe – на 31,1 % ($P \leq 0,001$) Li – на 38,2 % ($P \leq 0,001$), Na – на 52,3 % ($P \leq 0,001$), K – на 60,8 % ($P \leq 0,001$) по сравнению с генотипом CC.

Для оценки суммарной токсичной нагрузки организма бычков в зависимости от полиморфизма гена гормона роста для каждой из групп были рассчитаны значения концентраций Σ_{tox} как сумма ммолей элементов: Al, Cd, Pb, Sn, Hg, Sr в шерсти с холки (рис. 4).

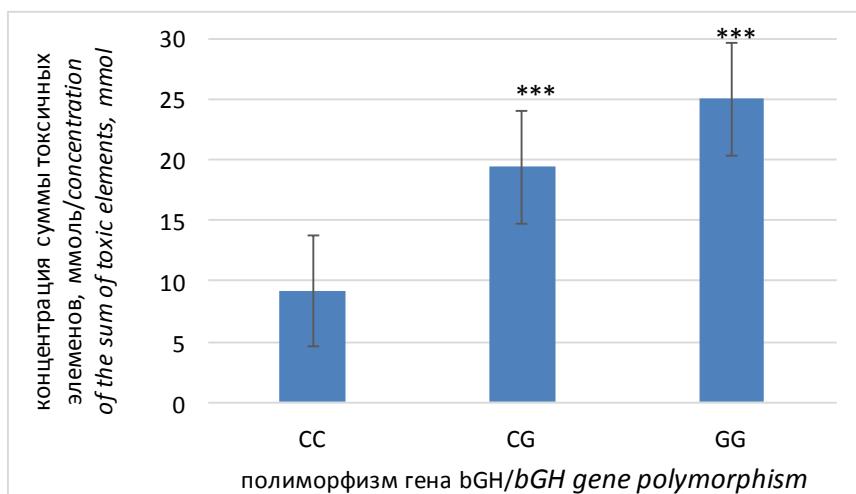


Рис. 4 – Концентрация суммы токсичных элементов (Σ_{tox}) бычков разных генотипов, ммоль/кг

Figure 4 – The concentration of toxic elements sum (Σ_{tox}) in bull-calves with different genotypes, mmol/kg

Примечание: *** – по сравнению с генотипом CC, $P \leq 0,001$

Note: *** – compared with CC genotype, $P \leq 0.001$

Бычки с генотипом CC, имея большую интенсивность роста, меньше накапливали токсичных веществ в шерсти с холки, так, Σ_{tox} у них была ниже на 52,4 ($P \leq 0,001$) и 63,1 % ($P \leq 0,001$) в сравнении со сверстниками с генотипами CG и GG соответственно. Подтверждением этому является и проведённый корреляционный анализ, который выявил достоверную связь между полиморфизмом гена и Σ_{tox} в шерсти на уровне $r=0,92$.

Обсуждение полученных результатов.

Более 35 лет назад была создана библиотека клонированных фрагментов ДНК крупного рогатого скота. Ген гормона роста был выделен из этой библиотеки с определением его нуклеотидной последовательности (Gordon DF et al., 1983). С этого момента начинается интенсивное изучение его влияния на организм крупного рогатого скота.

Ген гормона роста (GH) рассматривается как важный ген, влияющий на параметры роста у человека (Corpas E, 1993; Ouni M, 2015), крупного рогатого скота (McCormack BL et al., 2009; Ro Y et al., 2018; Hirayama H et al., 2019), свиней (Tian YG et al, 2014), рыб (Gross R and Nilsson J, 1995; Tian C et al., 2014) и др.

Настоящее исследование показывает, что SNP (rs135322669) в гене bGH связан с изменениями живой массы и пропорций тела у бычков калмыцкой породы. Мутации гена с CC (лей-

цин/лейцин) к GG (валин/валин) при невысокой их частоте встречаемости (12,0 %) сопровождались снижением как высотных промеров: высоте в холке, в крестце, так и широтных: ширине и глубине груди, ширине в крестце, что привело к разнице в 14-месячном возрасте по живой массе между сравниваемыми генотипами в 9,0 %. Это не противоречит ранее проведённым исследованиям (Ge W et al., 2003; Min LJ et al., 2005; Katoh K et al., 2008).

Учитывая то, что полиморфизм гена bGH изменяет выработку гормона роста, нами изучено его влияние на концентрацию элементов в шерсти с холки. Установлено, что у бычков в генотипом CC больше содержалось макроэлементов Ca, K, Na, эссенциальных микроэлементов Cu, Fe, J, Se, которые являются активаторами многих тканевых обменных процессов, питания, регуляции роста и дифференцировки клеток (Lückhoff A and Busse R, 1990; Beard JL, 2001; Sexson JL et al., 2010; Bresciani E et al., 2019), при сниженной концентрации токсичных элементов Al, Pb, Hg по сравнению с генотипами CG и GG.

Одной из причин снижения концентраций токсичных микроэлементов является, по нашему мнению, увеличение содержания селена, между которыми присутствуют ярко выраженные антигистические связи, это подтверждают и ранее проведённые работы (Kotyzova D et al., 2010; Skalnaya MG et al., 2018).

Как известно, влияние токсичных химических элементов приводит к широкому спектру неблагоприятных последствий для здоровья живых организмов, включая снижение продуктивных и репродуктивных способностей (Ronis MJ et al., 1996; Kalashnikov V et al., 2018), причём в относительно меньших концентрациях, чем предполагалось ранее (ACCLPP, 2012).

В связи с этим можно предположить, что бычки с генотипом CC будут не только лучше расти и оплачивать корм продукцией, но и меньше накапливать в теле токсичных элементов. Для подтверждения этого будут продолжены исследования с обязательным изучением убойных качеств животных и оценкой безопасности получаемой мясной продукции.

Заключение.

Проведённые исследования указывают на влияние полиморфизма в гене bGH бычков калмыцкой породы на параметры их тела: высоту в холке и крестце, ширину и глубину груди, ширину в крестце.

Бычки с генотипом CC, начиная с 6-месячного возраста, достоверно превосходят сверстников с генотипами CG и CC по живой массе.

У бычков с генотипом CC больше содержалось Ca, K, Na, Co, Cr, Cu, J, Se, B, Si, Li, V по сравнению с генотипом CG и Ca, K, Na, J, Se, B, Li в сравнении с генотипом GG.

Полиморфизм гена с CC к GG сопровождался повышением накопления токсичных элементов Al, Pb, Hg ($r=0,92$).

Список источников

1. Advisory Committee on Childhood Lead Poisoning Prevention of the Centers for Disease Control and Prevention. Low Level Lead Exposure Harms Children: A Renewed Call for Primary Prevention: Report to the CDCP. USA, GA, Atlanta: ACCLPP; 2012;1-54.
2. Beard JL. Iron biology in immune function, muscle metabolism and neuronal functioning. *J Nutr.* 2001;131(2): 568S-580S. doi: 10.1093/jn/131.2.568S
3. Boyd RD, Bauman DE. Mechanisms of action for somatotropin in growth. Campion DR, Hausman GJ, Martin RJ, editors. *Animal Growth Regulation.* MA, Boston: Springer; 1989;257-293. doi: 10.1007/978-1-4684-8872-2_12
4. Bresciani E, Rizzi L, Coco S, Molteni L, Meanti R, Locatelli V, Torsello A. Growth hormone secretagogues and the regulation of calcium signaling in muscle. *Int J Mol Sci.* 2019;20(18):4361. doi: 10.3390/ijms20184361

5. Casas E, White SN, Shackelford SD, Wheeler TL, Koochmarai M, Bennett GL, Smith TP. Assessing the association of single nucleotide polymorphisms at the thyroglobulin gene with carcass traits in beef cattle. *J Anim Sci.* 2007;85(11):2807-14. doi: 10.2527/jas.2007-0179
6. Cheong HS, Yoon DH, Kim LH, Park BL, Choi YH, Chung ER, Cho YM, Park EW, Cheong IC, Oh SJ, Yi SG, Park T, Shin HD. Growth hormone-releasing hormone (GHRH) polymorphisms associated with carcass traits of meat in Korean cattle. *BMC Genet.* 2006;7:35. doi: 10.1186/1471-2156-7-35
7. Combs DK. Hair analysis as an indicator of mineral status of livestock. *J Anim Sci.* 1987;65(6):1753-58. doi: 10.2527/jas1987.6561753x
8. Corpas E, Harman SM, Blackman MR. Human growth hormone and human aging. *Endocr Rev.* 1993;14(1):20-39. doi: 10.1210/edrv-14-1-20
9. Djari A, Esquerré D, Weiss B, Martins F, Meersseman C, Boussaha M, et al. Gene-based single nucleotide polymorphism discovery in bovine muscle using next-generation transcriptomic sequencing. *BMC Genomics.* 2013;14:307. doi:10.1186/1471-2164-14-307
10. Ge W, Davis ME, Hines HC, Irvin KM, Simmen RC. Association of single nucleotide polymorphisms in the growth hormone and growth hormone receptor genes with blood serum insulin-like growth factor I concentration and growth traits in Angus cattle. *J Anim Sci.* 2003;81(3):641-8. doi: 10.2527/2003.813641x
11. Gordon DF, Quick DP, Erwin CR, Donelson JE, Maurer RA. Nucleotide sequence of the bovine growth hormone chromosomal gene. *Mol Cell Endocrinol.* 1983;33(1):81-95. doi: 10.1016/0303-7207(83)90058-8
12. Gross R, Nilsson J. Application of heteroduplex analysis for detecting variation within the growth hormone 2 gene in *Salmo trutta* L. (brown trout). *Heredity (Edinb).* 1995;74 (Pt 3):286-95. doi: 10.1038/hdy.1995.42
13. Hirayama H, Naito A, Fujii T, Sugimoto M, Takedomi T, Moriyasu S, Sakai H, Kageyama S. Effects of genetic background on responses to superovulation in Japanese Black cattle. *J Vet Med Sci.* 2019;81(3):373-378. doi: 10.1292/jvms.18-0537
14. Howard T. Evaluation of 54 years of Louisiana bull testing, and SNP affecting growth and performance of yearling bulls on a forage performance bull test. *LSU Master's Theses;* 2013:2521.
15. Skalnaya MG, Jaiswal SK, Prakash R, Prakash NT, Grabeklis AR, Zhegalova IV, Zhang F, Guo X, Tinkov AA, Skalny AV. The Level of Toxic Elements in Edible Crops from Seleniferous Area (Punjab, India). *Biol Trace Elem Res.* 2018;184(2):523-528. doi: 10.1007/s12011-017-1216-7
16. Kalashnikov V, Zajcev A, Atroshchenko M, Miroshnikov S, Frolov A, Zav'yakov O, Kalinkova L, Kalashnikova T. The content of essential and toxic elements in the hair of the mane of the trotter horses depending on their speed. *Environ Sci Pollut Res.* 2018;25:21961-21967. doi: 10.1007/s11356-018-2334-2
17. Katoh K, Kouno S, Okazaki A, Suzuki K, Obara Y. Interaction of GH polymorphism with body weight and endocrine functions in Japanese black calves. *Domest Anim Endocrinol.* 2008;34(1):25-30. doi: 10.1016/j.domaniend.2006.10.003
18. Kotyzova D, Cerna P, Leseticky L, Eybl V. Trace elements status in selenium-deficient rats – interaction with cadmium. *Biological Trace Element Research.* 2010;136(3):287-93. doi: 10.1007/s12011-009-8541-4
19. Lee JH, Lee YM, Lee JY, Oh DY, Jeong DJ, Kim JJ. Identification of single nucleotide polymorphisms (SNPs) of the bovine growth hormone (bGH) gene associated with growth and carcass traits in Hanwoo. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2013;26(10):1359-64. doi: 10.5713/ajas.2013.13248
20. Lincoln DT, Sinowitz F, El-Hifnawi E, Hughes RL, Waters M. Evidence of a direct role for growth hormone (GH) in mammary gland proliferation and lactation. *Anat Histol Embryol.* 1995;24(2):107-115. doi: 10.1111/j.1439-0264.1995.tb00020.x
21. Lückhoff A, Busse R. Activators of potassium channels enhance calcium influx into endothelial cells as a consequence of potassium currents. *Naunyn-Schmiedeberg's Arch Pharmacol.* 1990;342:94-99. doi: 10.1007/BF00178979

22. McCormack BL, Chase CC Jr, Olson TA, Elsasser TH, Hammond AC, Welsh TH Jr, Jiang H, Randel RD, Okamura CA, Lucy MC. A miniature condition in Brahman cattle is associated with a single nucleotide mutation within the growth hormone gene. *Domest Anim Endocrinol*. 2009;37(2):104-11. doi: 10.1016/j.domaniend.2009.04.001
23. Miller WL, Martial JA, Baxter JD. Molecular cloning of DNA complementary to bovine growth hormone mRNA. *J Biol Chem*. 1980;255(16):7521-7524.
24. Min LJ, Li MY, Sun GQ, Pan QJ, Chen H. Relationship between polymorphism of growth hormone gene and production traits in goats. *Yi Chuan Xue Bao*. 2005;32(6):650-4.
25. Miroshnikov S, Kharlamov A, Zavyalov O, Frolov A, Bolodurina I, Arapova O, Duskaev G. Method of sampling beef cattle hair for assessment of elemental profile. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2015;14(9):632-636. doi: 10.3923/pjn.2015.632.636
26. Ouni M, Castell AL, Linglart A, Bougnères P. Genetic and epigenetic modulation of growth hormone sensitivity studied with the IGF-1 generation test. *J Clin Endocrinol Metab*. 2015;100(6):E919-25. doi: 10.1210/jc.2015-1413
27. Pannier L, Mullen AM, Hamill RM, Stapleton PC, Sweeney T. Association analysis of single nucleotide polymorphisms in DGAT1, TG and FABP4 genes and intramuscular fat in crossbred Bos taurus cattle. *Meat Sci*. 2010;85(3):515-8. doi: 10.1016/j.meatsci.2010.02.025
28. Patra RC, Swarup D, Sharma MC, Naresh R. Trace mineral profile in blood and hair from cattle environmentally exposed to lead and cadmium around different industrial units. *J Vet Med A*. 2006;53(10):511-517. doi: 10.1111/j.1439-0442.2006.00868.x
29. Pavlata L, Chomat M, Pechova A, Misurova L, Dvorak R. Impact of long-term supplementation of zinc and selenium on their content in blood and hair in goats. *Veterinarni Medicina*. 2011;56:63-74. doi: 10.17221/1581-VETMED
30. Pereira AP, Alencar MM, Oliveira HN, Almeida Regitano LC. Association of GH and IGF-1 polymorphisms with growth traits in a synthetic beef cattle breed. *Genetics and Molecular Biology*. 2005;28(2):230-236. doi: 10.1590/S1415-47572005000200009
31. Pieper L, Wall K, Müller E, Roder A, Staufenbiel R. Evaluation of sulfur status in dairy cows in Germany. *Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere*. 2016;44(2):92-8. doi: 10.15653/TPG-150901
32. Ro Y, Choi W, Kim H, Jang H, Lee H, Lee Y, Kim D. Prepubertal growth and single nucleotide polymorphism analysis of the growth hormone gene of low birth weight Holstein calves. *J Vet Sci*. 2018;19(1):157-160. doi: 10.4142/jvs.2018.19.1.157
33. Ronis MJ, Badger TM, Shema SJ, Roberson PK, Shaikh F. Reproductive toxicity and growth effects in rats exposed to lead at different periods during development. *Toxicol Appl Pharmacol*. 1996;136(2):361-371. doi: 10.1006/taap.1996.0044
34. Schenkel FS, Miller SP, Wilton JW. Genetic parameters and breed differences for feed efficiency, growth and body composition traits of young beef bulls. *Can J Anim Sci*. 2004;84(2):177-184. doi: 10.4141/A03-085
35. Sellier P. Genetically caused retarded growth in animals. *Domest Anim Endocrinol*. 2000;19(2):105-19. doi: 10.1016/s0739-7240(00)00071-0
36. Sexson JL, Wagner JJ, Engle TE, Spears JW. Effects of water quality and dietary potassium on performance and carcass characteristics of yearling steers. *J Anim Sci*. 2010;88(1):296-305. doi: 10.2527/jas.2009-1899
37. Sumantran VN, Tsai ML, Schwartz J. Growth hormone induces c-fos and c-jun expression in cells with varying requirements for differentiation. *Endocrinology*. 1992;130(4):2016-2024. doi: 10.1210/endo.130.4.1547725
38. Tian C, Yang M, Lv L, Yuan Y, Liang X, Guo W, Song Y, Zhao C. Single nucleotide polymorphisms in growth hormone gene and their association with growth traits in *Siniperca chuatsi* (Basilovsky). *Int J Mol Sci*. 2014;15(4):7029-36. doi: 10.3390/ijms15047029

39. Tian YG, Yue M, Gu Y, Gu WW, Wang YJ. Single-nucleotide polymorphism analysis of GH, GHR, and IGF-1 genes in minipigs. *Braz J Med Biol Res.* 2014;47(9):753-8. doi: 10.1590/1414-431x20143945

Информация об авторах:

Алексей Николаевич Фролов, доктор биологических наук, и.о. заведующего отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)30-81-78.

Олег Александрович Завьялов, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)30-81-78, e-mail: oleg-zavyalov83@mail.ru.

Анатолий Васильевич Харламов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)30-81-78.

Ирина Николаевна Сычева, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры частной зоотехнии, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, тел.: 879263948919.

Ирина Евгеньевна Быстренина, кандидат педагогических наук, доцент кафедры прикладной информатики, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, тел.: 89057146125.

Information about the authors:

Alexey N Frolov, Dr. Sci. (Biology), Acting Head of Department of Technology for Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 460000, Orenburg, Russia, 29, 9 Yanvarya St., tel.: 8(3532)30-81-78.

Oleg A Zavyalov, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Department of Technology of Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 460000, Orenburg, Russia, 29, 9 Yanvarya St., tel.: 8(3532)30-81-78.

Anatoly V Kharlamov, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Chief Researcher, Department of Technology for Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 460000, Orenburg, Russia, 29, 9 Yanvarya St., tel.: 8(3532)30-81-78.

Irina N Sycheva, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Perticular Zootechnics, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 127434, Russia, Moscow, st. Timiryazevskaya, 49, tel.: 879263948919.

Irina E Bystrenina, Cand. Sci (Pedagogical), Associate Professor of the Department of Applied Informatics, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 127434, Russia, Moscow, st. Timiryazevskaya, 49, tel.: 89057146125.

Статья поступила в редакцию 25.02.2022; одобрена после рецензирования 04.03.2022; принятая к публикации 21.03.2022.

The article was submitted 25.02.2022; approved after reviewing 04.03.2022; accepted for publication 21.03.2022.