

УДК 636.082:636.088.31

DOI: 10.33284/2658-3135-103-3-102

Влияние генотипа быков-отцов казахской белоголовой породы по генам CAPN1, CAST и TG5 на качественные показатели мяса у потомков

Ш.А. Макаев, Н.П. Герасимов

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

Аннотация. Актуальным в настоящее время остаётся вопрос организации селекционной работы с казахской белоголовой породой скота с учётом ДНК-маркеров мясной продуктивности, которая обеспечит конкурентоспособность отечественного мясного скотоводства как на внутренних, так и внешних рынках. В связи с этим целью наших исследований являлась оценка влияния генотипа линейных быков-производителей по генам CAPN1, CAST и TG5 на качественные показатели мяса у потомства казахской белоголовой породы. Для достижения поставленных задач был проведён опыт в СПК «Племзавод «Красный Октябрь» Волгоградской области по следующей схеме: I группа – потомки быка Миража 5085к заводской линии Марципана 2933к с генетическим профилем CAPN1^{CC}CAST^{GG}TG5^{CC}; II группа сформирована из сыновей Снайпера 8911к заводской линии Смычка 5545к с комплексом CAPN1^{CG}CAST^{CG}TG5^{CT}; III группа – от быка Пира 6021к линии Призёра 5001к с генотипом CAPN1^{CC}CAST^{CC}TG5^{CT}; IV группа – потомство Дозора 4331к заводской линии Дикого 7619к с профилем CAPN1^{GG}CAST^{CC}TG5^{CC}. Контрольный убой бычков разных генетических групп был проведён в 15-месячном возрасте. Потомки гомозиготных быков по гену CAST^{CC} отличались минимальным содержанием жира и максимальным количеством белка в средней пробе мяса-фарша. Их сверстники от гомозиготных отцов по гену кальпаина с генотипом CC имели тенденцию к повышенному содержанию влаги в мякоти туши. Расчёт детерминации химического состава мякоти туши у бычков от комбинации генотипа их отцов по генам CAPN1, CAST и TG5 показал существенные различия по силе влияния изученных полиморфизмов на накопление питательных элементов в теле животных. Однонуклеотидный полиморфизм CAST C282G оказывал более существенное влияние на изменчивость содержания питательных веществ в мясе-фарше на 1,41-7,31 %. Однако более заметный эффект наблюдался при изучении воздействия фактора отцовства на химический состав мякоти туши, который варьировал в диапазоне 4,52-24,20 %.

Ключевые слова: бычки, казахская белоголовая порода, заводская линия, ген, полиморфизм, аллель, качество мяса, химический состав мяса.

UDC 636.082:636.088.31

Influence of genotype of sires of the Kazakh white-headed breed by genes CAPN1, CAST and TG5 on meat quality parameters in offspring

Shakur A Makaev, Nikolay P Gerasimov

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

Summary. Now the issue of organizing breeding with the Kazakh white-headed cattle breed, with regard to the DNA markers of meat productivity, which will ensure competitiveness of domestic beef cattle breeding both in domestic and foreign markets, remains relevant. In this regard, the purpose of our research was to assess the influence of the genotype of linear sires by genes CAPN1, CAST and TG5 on the meat quality parameters in offspring of the Kazakh white-headed breed. To achieve the set tasks, an experiment was carried out in the SEC «Stud Farm «Krasny Oktyabr» of the Volgograd region according to the following scheme: Group I - offsprings of the bull Mirage 5085k of the Marzipan 2933k factory line with the genetic profile CAPN1^{CC}CAST^{GG}TG5^{CC}; Group II is formed from sons of the Sniper 8911k of the factory line Smychka 5545k with the CAPN1^{CG}CAST^{CG}TG5^{CT} complex; Group III - from the bull Pira

6021k of the Prizier 5001k line with the CAPN1^{CC}CAST^{CC}TG5^{CT} genotype; Group IV - offspring of Dozor 4331k of the Dikiy 7619k factory line with the profile CAPN1^{GG}CAST^{CC}TG5^{CC}. Control slaughter of bulls of different genetic groups was carried out at the age of 15 months. The offspring of homozygous bulls for the CAST^{CC} gene differed in the minimum fat content and the maximum amount of protein in the average sample of minced meat. Their herdmates from homozygous sires for the calpain gene with genotype CC tended to have an increased moisture content in the carcass meat. The calculation of determination of the chemical composition of carcass meat in bulls from combination of the genotype of their sires for CAPN1, CAST, and TG5 genes showed significant differences in the strength of influence of the studied polymorphisms on the accumulation of nutrients in the body of animals. Single nucleotide polymorphism CAST C282G had a more significant effect on the variability of nutrient content in minced meat by 1.41-7.31%. However, a more noticeable effect was observed when studying the effect of the paternity factor on the chemical composition of the carcass meat, which varied in the range of 4.52-24.20%.

Key words: bulls, Kazakh white-headed breed, breeding line, gene, polymorphism, allele, meat quality, meat chemical composition.

Введение.

Эффективным приёмом в мясном скотоводстве при совершенствовании племенных и продуктивных качеств отечественных стад является создание новых генотипов животных с хозяйственно ценными признаками на основе линейного разведения, которое в последнее время дополняется селекцией продолжателей заводских линий с использованием молекулярно-генетических маркеров (Терлецкий В.П. и др., 2014). Так, ремонтный молодняк для воспроизводства стада отбирают с учётом генеалогической принадлежности, а также данных по фенотипу и генотипу. При таком многоэтапном отборе племенных животных гарантирована консолидация у потомства не только повышенной продуктивности, но и комплектация заводских стад потомством с высокой частотой встречаемости желательных аллелей в генетическом профиле (Дубовскова М.П. и др., 2017). Это особенно актуально при организации селекционной работы с казахской белоголовой породой скота, которая обеспечит конкурентоспособность отечественного мясного скотоводства как на внутренних, так и внешних рынках. Важность MAS-селекции в отечественных стадах мясного скота отмечали Savaşçı M и Atasoy F (2016), Kök S с коллегами (2017).

Ключевыми наследственными факторами в маркер-ориентированной селекции с мясными породами скота являются гены, ассоциированные с количеством и качеством мясной продукции, эффективностью выращивания. Так, среди всего генома крупного рогатого скота были выделены гены гормона роста (GH), дифференцирующего фактора роста (GDF5), μ -кальпаина (CAPN1), кальпастина (CAST), тиреоглобулина (TG5), лептина (LEP) и другие, однонуклеотидный полиморфизм в которых способен оказывать влияние на рост и формирование отдельных тканей в организме животных, химический состав и технологические свойства говядины (Gill JL et al., 2009; Vonilla CA et al., 2010). Ориентирование селекции казахского белоголового скота в СПК «Племзавод «Красный Октябрь» Волгоградской области, учитывающей генетическую характеристику животных по генам CAPN1(μ -кальпаин) и CAST, обуславливается их ассоциацией с посмертным формированием нежности мяса при его созревании (Casas E et al., 2006). В свою очередь полиморфизм гена TG5 связывают с особенностями липогенеза и, в частности, с синтезом внутримышечного жира, что выражается в формировании мраморности мяса (Barendse W et al., 2004). Отбор животных-носителей желательных аллелей в этих генах для воспроизводства стада позволит повысить частоту встречаемости благоприятного генетического комплекса CAPN1/CAST/TG5.

Наибольшее воздействие на изменение генофонда популяции проявляется через селекцию быков-производителей (Завертяев Б.П. и Прохоренко П.Н., 2000). Поэтому целесообразно повышать интенсивность отбора в бычьей части стада, используя при этом современные и высокоэффективные инструменты, в том числе молекулярно-генетические методы.

Цель исследования.

Оценка влияния генотипа линейных быков-производителей по генам CAPN1, CAST и TG5 на качественные показатели мяса у потомства казахской белоголовой породы.

Материал и методы исследований.

Объект исследования. Бычки казахской белоголовой породы разных заводских линий в возрасте 15 месяцев.

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) and «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 исследования. Научно-хозяйственный опыт проведён на чистопородном поголовье животных казахской белоголовой породы в СПК «Племзавод «Красный Октябрь» Волгоградской области. Для получения подопытных бычков был проведён подбор родителей по следующей схеме (табл. 1): I группа – потомки быка Миража 5085к заводской линии Марципана 2933к с генетическим профилем CAPN1^{CC}CAST^{GG}TG5^{CC}; II группа сформирована из сыновей Снайпера 8911к заводской линии Смычка 5545к с комплексом CAPN1^{CG}CAST^{CG}TG5^{CT}; III группа – от быка Пира 6021к линии Призёра 5001к с генотипом CAPN1^{CC}CAST^{CC}TG5^{CT}; IV группа – потомство Дозора 4331к заводской линии Дикого 7619к с профилем CAPN1^{GG}CAST^{CC}TG5^{CC}. Бычков разных групп выращивали при одинаковых условиях кормления и содержания до 15-месячного возраста, после чего провели контрольный убой на 3 животных из каждой группы. Контрольный убой животных проводился по методике ВАСХНИЛ (1990) согласно ГОСТ Р 54315-2011. Среднюю пробу мяса-фарша в количестве 400 г отбирали из левой полутуши. Из этой же полутуши перед обвалкой взяли путём поперечного среза мышцы пробу (200 г) длиннейшей мышцы спины на уровне 9-11-го рёбер.

Таблица 1. Генетическая характеристика быков-отцов
Table 1. Genetic characteristic of sires

Отец / Sire	Группа / Group	Генотип / Genotype								
		CAPN1 C316G			CAST C282G			TG5 C422T		
		CC	CG	GG	CC	CG	GG	CC	CT	TT
Мираж 5085к / <i>Mirazh 5085k</i>	I	+					+	+		
Снайпер 8911к / <i>Snayper 8911k</i>	II		+			+				+
Пир 6021к / <i>Pir 6021k</i>	III	+				+				+
Дозор 4331к / <i>Dozor 4331k</i>	IV			+	+			+		

Быков-отцов генотипировали по генам CAPN1, CAST и TG5, однонуклеотидные замены в которых ассоциируются с качественными показателями мяса у крупного рогатого скота. При этом идентифицировали: полиморфизм C316G в 9 экзоне гена CAPN1, связанного с заменой оснований С-Г, в результате которой замещается аминокислота глицин на аминокислоту аланин; полиморфизм CAST282, который локализуется в 5 интроне гена кальпастатина с заменой оснований С-Г; полиморфизм TG5 C422T. Генотипирование быков-производителей проводилось на основе ДНК, выделенной из крови с использованием набора реагентов «DIAtom™ DNAPrep» (IsoGeneLab, Москва). Для проведения ПЦР применялись наборы «GenePakPCRCore», (IsoGeneLab, Москва). Для амплификации участков использовали праймеры, синтезированные в НПФ «Литех»: CAPN1 - F: 5'-agcagccaccatcagaga-3' и R: 5'-tcagctggttcggcagat-3' (White SN et al., 2005); CAST - F: 5'-

tggggccaatgacgccatcgatg-3' и R:5'-ggggagcagcacttctgatcacc-3' (Barendse WJ, 2002); TG5 - F: 5'-ggggat-gac-tac-gag-tat-gac-tg-3' и R: 5'-gtg-aaa-atc-ttc-tgg-agg-ctg-ta-3' (Barendse W et al., 2004).

Программа амплификации: 1) для гена CAPN1: 1 ступень – 200 с при +95 °С – 1 цикл; 2 ступень – 50 с при +62 °С – 50 циклов; 3 ступень – 20 с при +95 °С – 50 циклов.

2) для гена CAST: «горячий старт» – 10 мин при +95 °С; 35 циклов: денатурация – 30 с +94 °С, отжиг – 30 с +62 °С, синтез – 30 с +72 °С, достройка – 5 мин с +72 °С.

3) для гена TG5: «горячий старт» – 4 мин при +94 °С; 35 циклов: денатурация – 60 с при +94 °С, отжиг – 60 с при +62 °С, синтез – 60 с при +72 °С; достройка – 4 мин при +72 °С.

Для рестрикции амплифицированных участков генов использовали эндонуклеазы: CAPN1 – BtgI, CAST – HhaI, TG5 – BstX2I.

Оборудование и технические средства. Анализ химического состава продуктов убоя проводили в пробах длиннейшей мышцы спины и мяса-фарша на оборудовании Испытательного центра ЦКП ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (аттестат аккредитации № RA.RU.21ПФ59 от 02.12.2015). Качественный состав проб мякоти исследовали по ГОСТ 9793-74: жир – экстрагированием сухой навески пробы в аппарате Сокслета, белок – методом определения азота по Кьельдалю в сочетании с изометрической отгонкой в чашках Конвея. Белковый качественный показатель определяли по соотношению в пробах мяса триптофана (метод Неймана и Логана), оксипролина (метод Снайза и Чемберза).

Статистическая обработка. Цифровой материал обрабатывали методами 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). Статистическую разницу между средними величинами оценивали с применением критерия Тьюки. Достоверными считали значения при $P \leq 0,05$.

Результаты исследований.

Потомки от быков с разным генетическим профилем по исследуемым генам имели некоторые особенности по содержанию питательных веществ в теле (табл. 2). Так, сыновья Пира и Дозора, гомозиготные по гену CAST^{CC}, отличались минимальным содержанием жира и максимальным количеством белка в средней пробе мяса-фарша. При этом они превосходили продолжателей линий Марципана и Смычка по синтезу протеина на 0,2-0,3 %, и уступали по жиру отложению в теле на 0,4-1,2 %. В итоге гомозиготный вариант (CC) гена кальпастатина у быков-производителей был связан с меньшим содержанием сухого вещества в тканях тела сыновей. В то же время замена аллелей C→G в позиции гена CAST282 в генотипе отцов ассоциируется с повышенным синтезом жировой ткани в съедобных частях туши потомства.

Таблица 2. Химический состав мяса-фарша бычков от линейных производителей с разной комбинацией генотипов CAPN1, CAST и TG5, % (X±Sx)

Table 2. Chemical composition of minced beef meat from linear sires with different combinations of genotypes CAPN1, CAST and TG5, % (X ± Sx)

Группа / Group	Показатель / Indicator				
	влага / moisture	сухое вещество / dry matter	в том числе: / including:		
			жир / fat	протеин/protein	зола / ash
I	68,8±1,03	31,2±0,83	10,4±0,94	19,8±0,60	0,97±0,01
II	68,3±0,16	31,7±0,16	10,9±0,10	19,8±0,26	0,98±0,00
III	69,3±0,38	30,7±0,58	9,7±0,36	20,0±0,28	0,97±0,00
IV	68,9±0,36	31,1±0,36	10,0±0,36	20,1±0,49	0,98±0,00

Полиморфизм гена TG5 в позиции C422T с образованием гетерозиготного генотипа выражался в проявлении крайних вариантов по накоплению питательных веществ в теле потомков. Так,

сыновья Пира заводской линии Призёра 5001к отличались минимальным содержанием жира (на 0,3-1,2 %) и сухого вещества (на 0,4-1,0 %) в средней пробе мяса-фарша относительно сверстников. Тогда как бычки от Снайпера заводской линии Смычка 5545к характеризовались их максимальным синтезом. Такой противоречивый ранг распределения групп в большей мере связан с невысокой частотой встречаемости желательного аллеля Т гена тиреоглобулина в маточной части стада, который при подборе родительских пар элиминируется из генофонда потомства.

Сыновья от быков Миража и Пира (I и III группы), гомозиготные по гену CAPN1 с генотипом CC, имели тенденцию к повышенному содержанию влаги в мякоти туши. В то же время гетерозиготный вариант изучаемого гена у производителя Снайпера (II группа) ассоциирован с максимальным количеством сухого вещества в средней пробе мяса-фарша, превосходство относительно сверстников составляло 0,5-1,0 %.

Однако отмечаемая изменчивость в химическом составе мякоти туш бычков под влиянием генетического профиля быков-отцов не имела достоверных межгрупповых различий. Так, дисперсионным анализом выявлена сила влияния нуклеотидной замены в генах CAPN1, CAST и TG5 на вариабельность содержания основных питательных компонентов мяса (табл. 3). Результаты свидетельствуют о крайне низкой детерминации показателей в зависимости от наличия того или иного аллеля в генотипе быков-отцов, которая варьировала в пределах от 0,00 до 7,31 %. При этом отмечался минимальный эффект однонуклеотидного полиморфизма в гене тиреоглобулина. Причиной этого считаем существенные различия в частоте встречаемости аллелей С и Т, что также сказалось на отсутствии в генофонде отцов желательного гомозиготного варианта гена тиреоглобулина (TG5^{TT}).

Таблица 3. Влияние однонуклеотидных полиморфизмов генов CAPN1, CAST и TG5 и линейной принадлежности на вариабельность химического состава мякоти туши, %

Table 3. Influence of single nucleotide polymorphisms of the CAPN1, CAST and TG5 genes and linearity on variability of chemical composition of carcass meat, %

Показатель / <i>Indicator</i>	Фактор / <i>Factor</i>			
	CAPN1 C/G	CAST C/G	TG5 C/T	отец / <i>Sire</i>
Сухое вещество / <i>Dry matter</i>	0,933	1,414	0,001	8,276
Жир / <i>Fat</i>	0,505	7,313	0,001	24,196
Белок / <i>Protein</i>	0,605	2,333	0,000	4,524

Полиморфизм гена CAST282 у быков-производителей оказывал большее влияние на изменчивость химического состава говядины у их сыновей в пределах 1,41-7,31 %. Однако более заметный эффект наблюдался при изучении воздействия фактора отцовства на содержание питательных веществ в мякоти туши, который варьировал в диапазоне 4,52-24,20 %. Таким образом, важное условие повышения эффективности маркер-ориентированной селекции – значительное генетическое разнообразие животных в популяции. Дальнейшее наследственное преобразование стада казахской белоголовой породы будет определяться интенсивностью потока (миграции) генов из улучшающей родственной популяции, носителями которых могут быть как племенной молодняк, генотипированный и отобранный с учётом интересующих генов, так и глубоководная сперма и эмбрионы.

Вследствие неодинаковой массы туши при убое бычков-потомков от отцов-носителей разных комбинаций генотипов по генам CAPN1, CAST и TG5 отмечались более значительные межгрупповые различия по выходу основных питательных веществ (табл. 4).

Таблица 4. Валовый выход питательных веществ и энергетическая ценность мякоти туши потомков от линейных производителей с разной комбинацией генотипов CAPN1, CAST и TG5

Table 4. Gross yield of nutrients and energy value of carcass meat of offspring from linear sires with different combination of genotypes CAPN1, CAST and TG5

Показатель / Indicator	Группа / Group			
	I	II	III	IV
Содержание белка: / Protein content:				
в 1 кг мякоти, г / gr per 1 kg of meat	198,0	198,0	200,0	201,0
в мякоти туши, кг / kg in carcass meat	40,2	39,3	37,8	36,8
Содержание жира: / Fat content:				
в 1 кг мякоти, г / gr per 1 kg of meat	104,0	109,0	97,0	100,0
в мякоти туши, кг / kg in carcass meat	21,1	21,6	18,4	18,3
Энергетическая ценность: / Energy value				
1 кг мякоти, кДж / 1 kg of meat, kJ	7447,3	7643,0	7210,1	7344,1
мякоти туши, Мдж / carcass meat, mJ	1510,3	1517,9	1364,1	1345,4
Соотношение белка и жира в мякоти / Protein and fat ration in meat	1:0,53	1:0,55	1:0,49	1:0,50
Спелость (зрелость) мяса, % / Stage (maturity) of meat, %	15,12	15,96	14,00	15,51

Так, у сыновей от быков с гомозиготным состоянием гена CAST^{CC} (III и IV группы) установлен минимальный валовый выход белка на 2,5-3,4 кг (3,82-8,46 %) и жира – на 2,7-3,3 кг (12,80-15,28 %). В то время как от носителя гомозиготного варианта CAST^{GG} получено потомство с максимальным содержанием белка в туше. Наличие аллеля G в гене кальпастина у отцов обеспечило высокую энергетическую ценность как единицы продукции, так и мякоти туши в целом у бычков I и II групп, которые превосходили сверстников на 103,2-432,9 кДж (1,41-6,00 %) и на 146,2-172,5 МДж (10,72-12,82 %) соответственно. Следует выделить положительное влияние аллеля G гена кальпаина у отцов на формирование спелости (зрелости) мяса у бычков-потомков. По этому показателю молодняк II и IV групп превосходил сверстников на 0,39-1,96 %.

При анализе химического состава длиннейшей мышцы спины бычков-сыновей от быков с разным генетическим профилем установлено, что гомозиготный генотип гена CAPN1^{CC} был связан с минимальным содержанием белка на 0,46-1,09 % (рис. 1). Напротив, наличие аллеля G в изучаемом гене ассоциировано с повышенным синтезом белка в мышцах.

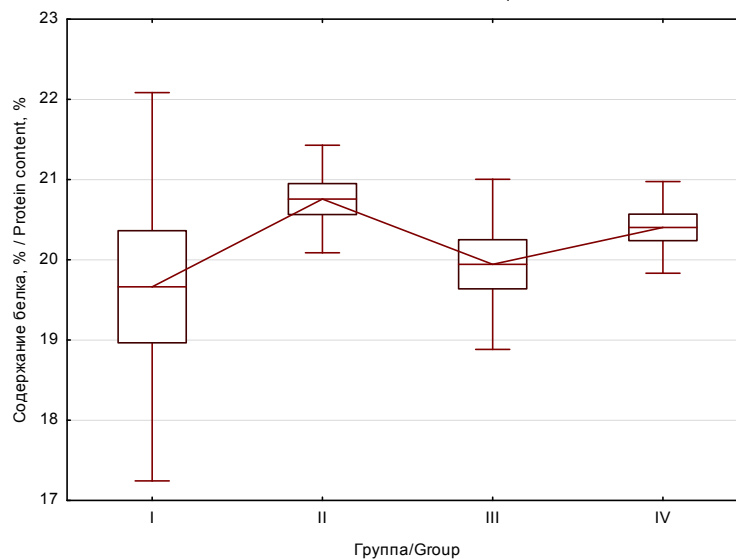


Рис. 1 – Содержание белка в длиннейшей мышце спины у бычков разных генотипов
Figure 1 – Protein content in the longest muscle of the back in bulls of different genotypes

Содержание внутримышечного жира в большей мере определялось полиморфизмом гена тиреоглобулина в позиции С422Т (рис. 2). Так, повышенная аккумуляция жировой ткани в длиннейшей мышце спины отмечалась у сыновей (I и IV группы) от быков-носителей гомозиготной формы гена TG5^{AA}, которые превосходили сверстников на 0,03-0,08 %. В то же время отмечается замедление жирового обмена в мышцах потомства, у отцов которых присутствует аллель Т.

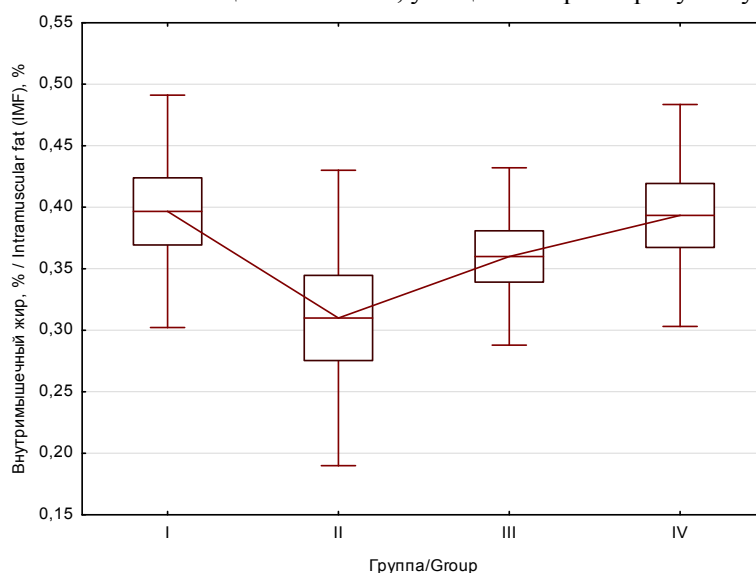


Рис. 2 – Содержание внутримышечного жира в длиннейшей мышце спины у бычков разных генотипов

Figure 2 – The content of intramuscular fat in the longissimus dorsi muscle in bulls of different genotypes

Обсуждение полученных результатов.

Идентификация функциональных полиморфизмов в генах, ассоциируемых с формированием мясной продуктивности и качества говядины, призвано организовать комплектацию стад высокоценными животными и ускорить селекционно-племенную работу (Tait RGJr et al., 2014; Ardicli S et al., 2017). В исследованиях Яковлева Я.Ф. и Смагардова М.Г. (2011) установлено, что влияние отдельного локуса количественного признака (QTL) на изменчивость селекционируемого показателя варьирует в пределах 1,5-6,0 %. При этом эффективность геномной селекции в племенном животноводстве зависит от размера генома, поголовья генотипированных животных, эффективной численности популяции и степени наследуемости признака. В нашем опыте расчёт детерминации химического состава мякоти туши у бычков от комбинации генотипа их отцов по генам CAPN1, CAST и TG5 показал существенные различия по силе влияния отмеченных полиморфизмов на накопление питательных элементов в теле животных. Так, однонуклеотидный полиморфизм CAST C282G обуславливал изменчивость содержания белка в мясе-фарше на 2,33 %, жира – на 7,31 %, а в целом сухого вещества – на 1,41 %. Несколько меньший вклад в вариабельность показателей химического состава вносил полиморфизм гена кальпаина CAPN1 C316G – 0,50-0,93 %. Замена в нуклеотидной последовательности С→Т в гене тиреоглобулина TG5 C422Т не сопровождалась заметным изменением в химическом составе мякоти туши. Низкая детерминация содержания основных питательных веществ в мясе от аллельной структуры гена TG5 в наших исследованиях связана, главным образом, с неравнозначным распределением альтернативных аллелей в стаде, а частота желательного генотипа TG5^{TT} составляет 11,5 % (Макаев Ш.А. и др., 2016). Подобная встречаемость лимитирует селекцию на создание оптимальной генетической структуры популяции с учётом гена тиреоглобулина. В то же время Седых Т.А. с коллегами (2014) назвали главное усло-

вие эффективности MAS-селекции, которое обеспечивается достаточным генетическим разнообразием отечественных племенных стад мясного скота. К схожему выводу пришли Kök S с соавторами (2017), которые отмечали различную частоту встречаемости альтернативных аллелей в генах CAPN1 (С – 0,11 и G – 0,89) и CAST (С – 0,60 и G – 0,40) в стаде турецкого серого скота. При чистопородном разведении животных для повышения генетического потенциала Завертяев Б.П. и Прохоренко П.Н. (2000) рекомендуют использовать аддитивную изменчивость, которая позволит увеличить желательную гомозиготность в популяции. В качестве основного метода усиления наследственной изменчивости в племенных стадах они предлагают использовать миграцию генетического материала из родственных популяций с учётом генотипирования по интересующим генам. Для повышения частоты встречаемости желательных аллелей в генофонде совершенствуемого стада Bennett GL с коллегами (2013) рекомендовали интенсивное использование гетерозиготных быков-отцов по генетическому комплексу CSN1S1×TG5. В этой связи казахская белоголовая порода, несмотря на длительное чистопородное разведение, располагает значительным генетическим разнообразием, которое способно обеспечить дальнейшее совершенствование за счёт внутривидовых ресурсов (Макаев Ш.А. и Тайгузин Р.Ш., 2015).

Анализ химического состава мяса-фарша в связи с линейной принадлежностью бычков показал существенно большую детерминацию содержания питательных веществ в теле в зависимости от происхождения животных по сравнению с аллельным профилем отцов. Так, сила влияния заводской линии на вариабельность накопления белка в теле продолжателей составляла 4,52 %, а жира – 24,20 %. Таким образом, дифференциация племенных стад на линии, берущих начало от лидеров породы, обеспечивает целенаправленное совершенствование продуктивных качеств казахского белоголового скота (Мирошников С.А. и др., 2012). Так, в наших исследованиях продолжатели заводской линии Смычка 5545к характеризовались максимальным содержанием сухого вещества (31,7 %) в средней пробе мяса-фарша, превышая показатели сверстников на 0,5-1,0 %. В силу низкой вариабельности накопления белка в разрезе отдельных групп бычков это преимущество сложилось, главным образом, за счёт повышенного жираотложения потомков старейшей заводской линии казахского белоголового скота. Эта особенность сыновей Снайпера 8911к выразилась в наивысшем соотношении белка и жира в мякоти (1:0,55), тогда как в более современных заводских линиях породы этот показатель варьировал в пределах 1:0,49-0,53. Отмечаемая тенденция наблюдается во всех мясных породах скота, которая направлена на производство более постной говядины, отвечающей требованиям потребителя (Каюмов Ф.Г. и др., 2016; Бактыгалиева А.Т. и Джуламанов К.М., 2017; Мирошников С.А. и др., 2017; Ажмулдинов Е.А. и др., 2019).

Выводы.

Селекция с использованием молекулярно-генетических методов в стаде казахского белоголового скота СПК «Племзавод «Красный Октябрь» проводится через интенсивное использование линейных быков-производителей. Продолжатели основных заводских линий характеризуются уникальными комплексами генотипов по генам CAPN1, CAST и TG5, которые ассоциированы с качественными показателями мяса. Потомки в зависимости от происхождения отличались различным химическим составом продуктов убоя. Однонуклеотидный полиморфизм CAST C282G оказывал более существенное влияние изменчивость содержания питательных веществ в мясе-фарше на 1,41-7,31 %.

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

Литература

1. Бактыгалиева А.Т., Джуламанов К.М. Качественная оценка мяса бычков и кастратов разных генотипов // Вестник мясного скотоводства. 2017. № 1(97). С. 50-56. [Baktygalieva AT,

Dzhulamanov KM. Qualitative assessment of meat of bulls and steers of different genotypes. Herald of Beef Cattle Breeding. 2017;1(97):50-56. *(In Russ)*.

2. Завертяев Б.П., Прохоренко П.Н. Совершенствование системы разведения и селекции молочного скота // Зоотехния. 2000. № 8. С. 8-12. [Savertyaev BP, Prochorenko PN. Sovershenstvovanie sistemy razvedeniya i seleksii molochnogo skota. Zootechniya. 2000;8:8-12. *(In Russ)*].

3. Каюмов Ф.Г., Сурундаева Л.Г., Калашников Н.А. Химический состав и биологическая ценность мяса туши бычков калмыцкой породы скота разных генотипов // Вестник мясного скотоводства. 2016. № 2(94). С. 14-17. [Kayumov FG, Surundayeva LG, Kalashnikov NA. The chemical composition and biological value of beef of carcasses of Kalmyk calves with different genotypes. Herald of Beef Cattle Breeding. 2016;2(94):14-17. *(In Russ)*].

4. Макаев Ш.А., Рысаев А.Ф., Фомин А.В. Молекулярно-генетическое тестирование животных казахского белоголового скота // Вестник мясного скотоводства. 2016. № 3(95). С. 53-58. [Makaev ShA, Rysaev AF, Fomin AV. Molecular genetic testing of Kazakh white-headed cattle. Herald of Beef Cattle Breeding. 2016;3(95):53-58. *(In Russ)*].

5. Макаев Ш.А., Тайгузин Р.Ш. Кроссы заводских линий в совершенствовании скота казахской белоголовой породы // Вестник мясного скотоводства. 2015. № 3(91). С. 12-19. [Makaev ShA, Tayguzin RSh. Crosses of breeding lines in improvement of Kazakh white-headed cattle. Herald of Beef Cattle Breeding. 2015;3(91):12-19. *(In Russ)*].

6. Мирошников С., Макаев Ш., Фомин В. Ведение линий казахского белоголового скота // Молочное и мясное скотоводство. 2012. № 1. С. 4-6. [Miroshnikov S, Makaev Sh, Fomin V. Keeping the lines of Kazakh white-head cattle. Dairy and Beef Cattle Breeding. 2012;1:4-6. *(In Russ)*].

7. Мирошников С.А., Харламов А.В., Маркова И.В. Качественные показатели говядины бычков различных пород и направлений продуктивности // Теория и практика переработки мяса. 2017. Т. 2. № 2. С. 14-22. [Miroshnikov SA, Kharlamov AV, Markova IV. Quality indicators of beef from young bulls of various dairy and beef breeds. Theory and practice of meat processing. 2017;2(2):14-22. *(In Russ)*]. doi: 10.21323/2414-438X-2017-2-2-14-22

8. Молекулярно-генетический анализ популяционной структуры генофондных пород крупного рогатого скота / В.П. Терлецкий, В.И. Тыщенко, Л.Г. Сурундаева, Н.Л. Адаев, Р.Х. Гайрабеков, Е.С. Усенбеков // Молочное и мясное скотоводство. 2014. № 6. С. 5-7. [Terletskiy VP, Tyschenko VI, Surundaeva LG, Adaev NL, Gajrabekov RH, Usenbekov ES. Molecular genetic analysis of population structure of gene pool cattle breeds. Dairy and Beef Cattle Breeding. 2014;6:5-7. *(In Russ)*].

9. Полиморфизм микросателлитных локусов крупного рогатого скота герефордской породы различных эколого-генетических генераций / Т.А. Седых, Е.А. Гладырь, И.Ю. Долматова, В.В. Волкова, Р.С. Гизатуллин, Н.А. Зиновьева // Вестник АПК Ставрополя. 2014. № 3(15). С. 121-128. [Sedih TA, Gladir` EA, Dolmatova IYu, Volkova VV, Gizatullin RS, Zinov`eva NA. Microsatellite polymorphism of different ecological and genetic Hereford cattle generations. Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2014;3(15):121-128. *(In Russ)*].

10. Потенциал продуктивности и особенности биоконверсии питательных веществ корма в мясную продукцию у бычков различных генотипов / Е.А. Ажмулдинов, М.А. Кизаев, М.Г. Титов, И.А. Бабичева // Ветеринарный врач. 2019. № 4. С. 45-49. [Azhmuldinov EA, Kizaev MA, Titov MG, Babicheva IA. Productivity potential and features of bioconversion of feed nutrients into meat products in young bulls of various genotypes. Veterinarian. 2019;4:45-49. *(In Russ)*].

11. Формирование генеалогической структуры герефордов по гено- и фенотипическим признакам / М.П. Дубовскова, В.И. Колпаков, А.М. Ворожейкин, Е.А. Киц // Вестник мясного скотоводства. 2017. № 2(98). С. 30-38. [Dubovskova MP, Kolpakov VI, Vorozheikin AM, Kits EA. Formation of the genealogy structure of Hereford by genotypes and phenotypic characters. Herald of Beef Cattle Breeding. 2017;2 (98):30-38. *(In Russ)*].

12. Яковлев А.Ф., Смарагдов М.Г. Значительное повышение точности оценки племенной ценности животных в молочном скотоводстве // Зоотехния. 2011. № 5. С. 2-4. [Yakovlev AF,

Smaragdov MG. Substantial increase the reliability of herd value estimation in dairy animal breeding. *Zootechniya*. 2011;5:2-4. (*In Russ*).

13. Ardicli S, Samli H, Dincel D, Soyudal B, Balci F. Individual and combined effects of CAPN1, CAST, LEP and GHR gene polymorphisms on carcass characteristics and meat quality in Holstein bulls. *Arch Anim Breed*. 2017; 60:303-313. doi: <https://doi.org/10.5194/aab-60-303-2017>

14. Barendse WJ, inventor; DNA markers for meat tenderness. WO 02/064820. 22.08.2002.

15. Barendse W, Bunch R, Thomas M, Armitage S et al. The TG5 thyroglobulin gene test for a marbling quantitative trait loci evaluated in feedlot cattle. *Aust. J. Exp. Agr.* 2004;44:669-674.

16. Bennett GL, Shakelford TL, Wheeler TL, King DA, Casas E, Smith TPL. Selection for genetic markers in beef cattle reveals complex associations of thyroglobulin and casein 1-S1 with carcass and meat traits. *J. Anim. Sci.* 2013;91:565-571. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5454>

17. Bonilla CA, Rubio MS, Sifuentes AM, Parra-Bracamonte GM, Arellano VW, Méndez MRD, Berruecos JM, Ortiz R. Association of CAPN1 316, CAPN1 4751 and TG5 markers with bovine meat quality traits in Mexico. *Genetics and Molecular Research*. 2010;9(4):2395-2405. doi: 10.4238/vol9-4gmr959

18. Casas E, White SN, Wheeler TL, Shackelford SD, Koohmaraie M, Riley DG, Chase JCC, Johnson DD, Smith TPL. Effects of calpastatin and micro-calpain markers in beef cattle on tenderness traits. *J. Anim. Sci.* 2006;84(3): 520-525. doi: <https://doi.org/10.2527/2006.843520x>

19. Gill JL, Bishop SC, McCorquodale C, Williams JL, Wiener P. Association of selected SNP with carcass and taste panel assessed meat quality traits in a commercial population of Aberdeen Angus-sired beef cattle. *Genetics Selection Evolution*. 2009;41:36. doi:10.1186/1297-9686-41-36

20. Kök S, Atalay S, Eken HS, Savaşçı M. The Genetic characterization of Turkish grey cattle with regard to UoG CAST, CAPN1 316 and CAPN1 4751 markers. *Pakistan J. Zool.* 2017;49(1):297-304. doi: <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/2017.49.1.297.304>

21. Savaşçı M, Atasoy F. The investigation of calpastatin and thyroglobulin gene polymorphisms in some native cattle breeds. *Ankara Üniv Vet Fak Derg.* 2016;63:53-59. doi: http://dx.doi.org/10.1501/Vetfak_0000002709

22. Tait RGJr, Shackelford SD, Wheeler TL, King DA, Keele JW, Casas E, Smith TPL, Bennett GL. CAPN1, CAST, and DGAT1 genetic effects on preweaning performance, carcass quality traits, and residual variance of tenderness in a beef cattle population selected for haplotype and allele equalization. *Journal of Animal Science*. 2014;92(12):5382-5393. doi:<https://doi.org/10.2527/jas.2014-8211>

23. White SN, Casas E, Wheeler TL, Shackelford SD, Koohmaraie M, Riley DG, Chase CC, Johnson DD, Keele JW, Smith TPL. A new SNP in CAPN1 is associated with tenderness in cattle of *Bos indicus*, *Bos taurus*, and crossbred descent. *J Anim Sci*. 2005;83(9):2001-2008. doi: <https://doi.org/10.2527/2005.8392001x>

References

1. Baktygalieva AT, Dzhulamanov KM. Qualitative assessment of meat of bulls and steers of different genotypes. *Herald of Beef Cattle Breeding*. 2017;1(97):50-56.

2. Savertyaev BP, Prochorenko PN. Improving the system of breeding and selection of dairy cattle. *Zootechniya*. 2000;8:8-12.

3. Kayumov FG, Surundayeva LG, Kalashnikov NA. The chemical composition and biological value of beef of carcasses of Kalmyk calves with different genotypes. *Herald of Beef Cattle Breeding*. 2016;2(94):14-17.

4. Makaev ShA, Rysaev AF, Fomin AV. Molecular genetic testing of Kazakh white-headed cattle. *Herald of Beef Cattle Breeding*. 2016;3(95):53-58.

5. Makaev ShA, Tayguzin RSh. Crosses of breeding lines in improvement of Kazakh white-headed cattle. *Herald of Beef Cattle Breeding*. 2015;3(91):12-19.

6. Miroshnikov S, Makaev Sh, Fomin V. Keeping the lines of Kazakh white-head cattle. *Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2012;1:4-6.

7. Miroshnikov SA, Kharlamov AV, Markova IV. Quality indicators of beef from young bulls of various dairy and beef breeds. Theory and practice of meat processing. 2017;2(2):14-22. doi: 10.21323/2414-438X-2017-2-2-14-22
8. Terletskiy VP, Tyschenko VI, Surundaeva LG, Adaev NL, Gajrabekov RH, Usenbekov ES. Molecular genetic analysis of population structure of gene pool cattle breeds. Dairy and Beef Cattle Breeding. 2014;6:5-7.
9. Sedih TA, Gladir` EA, Dolmatova IYu, Volkova VV, Gizatullin RS, Zinov`eva NA. Microsatellite polymorphism of different ecological and genetic Hereford cattle generations. Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2014;3(15):121-128.
10. Azhmuldinov EA, Kizaev MA, Titov MG, Babicheva IA. Productivity potential and features of bioconversion of feed nutrients into meat products in young bulls of various genotypes. Veterinarian. 2019;4:45-49.
11. Dubovskova MP, Kolpakov VI, Vorozheikin AM, Kits EA. Formation of the genealogy structure of Hereford by genotypes and phenotypic characters. Herald of Beef Cattle Breeding. 2017;2(98):30-38.
12. Yakovlev AF, Smaragdov MG. Substantial increase the reliability of herd value estimation in dairy animal breeding. Zootechniya. 2011;5:2-4.
13. Ardicli S, Samli H, Dincel D, Soyudal B, Balci F. Individual and combined effects of CAPN1, CAST, LEP and GHR gene polymorphisms on carcass characteristics and meat quality in Holstein bulls. Arch Anim Breed. 2017; 60:303-313. doi: <https://doi.org/10.5194/aab-60-303-2017>
14. Barendse WJ, inventor; DNA markers for meat tenderness. WO 02/064820. 22.08.2002.
15. Barendse W, Bunch R, Thomas M, Armitage S et al. The TG5 thyroglobulin gene test for a marbling quantitative trait loci evaluated in feedlot cattle. Aust. J. Exp. Agr. 2004;44:669-674.
16. Bennett GL, Shackelford TL, Wheeler TL, King DA, Casas E, Smith TPL. Selection for genetic markers in beef cattle reveals complex associations of thyroglobulin and casein 1-S1 with carcass and meat traits. J. Anim. Sci. 2013;91:565-571. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5454>
17. Bonilla CA, Rubio MS, Sifuentes AM, Parra-Bracamonte GM, Arellano VW, Méndez MRD, Berruecos JM, Ortiz R. Association of CAPN1 316, CAPN1 4751 and TG5 markers with bovine meat quality traits in Mexico. Genetics and Molecular Research. 2010;9(4):2395-2405. doi: 10.4238/vol9-4gmr959
18. Casas E, White SN, Wheeler TL, Shackelford SD, Koohmaraie M, Riley DG, Chase JCC, Johnson DD, Smith TPL. Effects of calpastatin and micro-calpain markers in beef cattle on tenderness traits. J. Anim. Sci. 2006;84(3): 520-525. doi: <https://doi.org/10.2527/2006.843520x>
19. Gill JL, Bishop SC, McCorquodale C, Williams JL, Wiener P. Association of selected SNP with carcass and taste panel assessed meat quality traits in a commercial population of Aberdeen Angus-sired beef cattle. Genetics Selection Evolution. 2009;41:36. doi:10.1186/1297-9686-41-36
20. Kök S, Atalay S, Eken HS, Savaşçı M. The Genetic characterization of Turkish grey cattle with regard to UoG CAST, CAPN1 316 and CAPN1 4751 markers. Pakistan J. Zool. 2017;49(1):297-304. doi: <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/2017.49.1.297.304>
21. Savaşçı M, Atasoy F. The investigation of calpastatin and thyroglobulin gene polymorphisms in some native cattle breeds. Ankara Üniv Vet Fak Derg. 2016;63:53-59. doi: http://dx.doi.org/10.1501/Vetfak_00000002709
22. Tait RGJr, Shackelford SD, Wheeler TL, King DA, Keele JW, Casas E, Smith TPL, Bennett GL. CAPN1, CAST, and DGAT1 genetic effects on preweaning performance, carcass quality traits, and residual variance of tenderness in a beef cattle population selected for haplotype and allele equalization. Journal of Animal Science. 2014;92(12):5382-5393. doi:<https://doi.org/10.2527/jas.2014-8211>
23. White SN, Casas E, Wheeler TL, Shackelford SD, Koohmaraie M, Riley DG, Chase CC, Johnson DD, Keele JW, Smith TPL. A new SNP in CAPN1 is associated with tenderness in cattle of Bos indicus, Bos taurus, and crossbred descent. J Anim Sci. 2005;83(9):2001-2008. doi: <https://doi.org/10.2527/2005.8392001x>

Макаев Шакур Ахмеевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела разведения мясного скота, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29

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

Поступила в редакцию 10 сентября 2020 г.; принята после решения редколлегии 14 сентября 2020 г.; опубликована 30 сентября 2020 г. / Received: 10 September 2020; Accepted: 14 September 2020; Published: 30 September 2020