

СВЯЗЬ ГЕНОТИПОВ ПО ГЕНАМ BLG, IGF1 И CSN3 С ПУХОВОЙ И МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ АЛТАЙСКОЙ БЕЛОЙ ПУХОВОЙ ПОРОДЫ КОЗ

¹О.Л. Халина, научный сотрудник

^{1,2}Д.А. Авадани, младший научный сотрудник, аспирант

^{1,2}Г.М. Гончаренко, доктор биологических наук

¹Т.С. Хорошилова, кандидат биологических наук

³Т.Б. Каргачакова, старший научный сотрудник

¹Н.Б. Гришина, кандидат биологических наук

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

²Новосибирский государственный аграрный университет

³Горно-Алтайский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Федерального Алтайского научного центра агробиотехнологий

E-mail: sibnptij@ngs.ru

Ключевые слова: козы, генотип, аллель, пуховая продуктивность, молоко, калорийность.

Реферат. Представлены исследования по изучению генотипической структуры алтайской белой пуховой породы по генам BLG, IGF-1 и CSN3. Геномную ДНК выделяли из крови 113 животных с использованием набора экстракции из клинического материала «Ампли Прайм ДНК-сорб-В». Молекулярно-генетические реакции проведены на амплификаторе С1000 BioRad. Визуализация и идентификация результатов осуществлялись методом горизонтального электрофореза в 2 %-м агарозном геле с использованием гельдокументирующей системы E-Box-CX5.TS-20.M (Франция) в проходящем ультрафиолетовом свете. В результате исследований установлена частота генотипов и аллелей: BLG^{S1S1} – 17,7%, BLG^{S1S2} – 57,5, BLG^{S2S2} – 24,8, соответственно частота аллелей BLG^{S1} – 0,46; BLG^{S2} – 0,54; IGF^{AA} – 2,7; IGF^{AB} – 28,3 и IGF^{BB} – 69,0%. Частота аллелей составляет: IGF^A – 0,17, IGF^B – 0,83. Ген CSN3 у коз алтайской белой пуховой породы оказался мономорфным по аллелю CSN3^A. Анализ фактического и теоретического распределения генотипов BLG и IGF1 генов коз свидетельствует о генетическом равновесии в стаде. Пуховая продуктивность у исследованных животных составляет: начёс – 680 г, тонина пуха – 19,13 мкм, длина пуха – 9,29 см. Козы с генотипом IGF^{AB} имеют больший начес пуха в сравнении с гомозиготным генотипом IGF^{AA}. Жирность молока животных находится в пределах 6,03–6,24 %, содержание белка – 3,48–3,72, лактозы – 4,56–4,90 %. При исследовании качественных показателей молока алтайских белых пуховых коз с разными генотипами BLG, IGF и CSN3 не выявлено достоверных различий. Наблюдается тенденция к увеличению содержания жира в молоке и калорийности молока у коз с генотипом IGF^{AA} – 7,62. Исследуемые козы алтайской белой пуховой породы имели высокую уравненность показателей по живой массе, длине пуха, содержанию пуха в процентах, тонине пуха – $C_v < 10$ %.

RELATIONSHIP OF BLG, IGF1, AND CSN3 GENOTYPES WITH FLUFF AND MILK PRODUCTIVITY OF ALTAIC WHITE FLUFFY GOATS

¹O.L. Khalina, Research Fellow

^{1,2}D.A. Avadani, Junior Researcher, Ph.D. Student

^{1,2}G.M. Goncharenko, Doctor of Biological Sciences

¹T.S. Khoroshilova, Ph.D. in Biological Sciences

³T.B. Kargachakova, Senior Researcher

¹N.B. Grishina, Ph.D. in Biological Sciences

¹Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences

²Novosibirsk State Agrarian University

³Gorno-Altay research institute of agriculture – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnology”

E-mail: sibnptij@ngs.ru

Ключевые слова: goats, genitype, alleles, fluff productivity, milk, energy value.

Abstract. Studies on the genotypic structure of the Altai white down breed by BLG, IGF-1, and CSN3 genes are presented. Genomic DNA was isolated from the blood of 113 animals using the Amplie Prime DNA-Sorb-B clinical extraction kit. Molecular genetic reactions were performed on a C1000 BioRad amplifier. Visualization and identification of the results were determined by flatbed electrophoresis in 2% agarose gel using the E-Box-CX5.TS-20.M gel-documentation system (France) in transmitted ultraviolet light. As a result, the frequency of genotypes and alleles was established as follows: BLG^{S1S1} – 17,7%, BLG^{S1S2} – 57,5, BLG^{S2S2} – 24, respectively; BLG^{S1} – 0,46; BLG^{S2} – 0,54; IGF^{AA} – 2,7; IGF^{AB} – 28,3 и IGF^{BB} – 69,0%. The allele frequencies are IGF^A – 0,17 and IGF^B – 0,83. The CSN3 gene in Altai white down goats was monomorphic for the $CSN3^A$ allele. Analysis of the actual and theoretical distribution of BLG and IGF1 genotypes of goat genes indicates a genetic equilibrium in the flock. The down productivity of the studied animals is fleece - 680 g, down fineness -19.13 microns, and down length - 9.29 cm. Goats with the IGF^{AB} genotype have more wool than the homozygotic IGF^{AA} genotype. The fat content of the milk ranges from 6.03-6.24%, the protein content is 3.48-3.72%, and the lactose content is 4.56-4.90%. The study of milk quality indicators of Altai white down goats with different genotypes of BLG, IGF, and CSN3 revealed no significant differences. However, goats tend to increase milk fat and caloric content with the IGF^{AA} genotype - 7.62. The studied goats of the Altai white down breed had a high equilibrium of indicators by live weight, length of down, down content in percentage, and down fineness - $Cv < 10\%$.

Пуховое козоводство в Республике Алтай занимает ведущее положение в сельскохозяйственном производстве. Козы, благодаря своей неприхотливости к кормам, могут осваивать неудобные для других видов животных (крупный рогатый скот, лошади) гористые участки, от них получают высокого качества пух – могер, стоимость которого на мировом рынке находится в пределах 1500–1800 руб. По данным ВНИИПлем, в 2020 г. в племенных хозяйствах России содержалось 21,2 тыс. голов пуховых коз, из них в Республике Алтай – 15,7 тыс. (74,0 %), в том числе белых пуховых коз – 6,0 тыс. голов [1]. Порода белых пуховых коз как селекционное достижение была утверждена в 2016 г. (патент №8985). Козы отличались высокой пуховой продуктивностью, начёс пуха в среднем составлял 735 г [2], в настоящее время этот признак находится на этом же уровне – 731 г [1].

Ценность пуха зависит от его тонины, чем она меньше, тем ценнее пух. Тонина пуха алтайских белых пуховых коз составляет 18–23 мкм, что по международной классификации относится к кашгоре, менее ценному пуху по сравнению с кашмирским. Кроме того, в шерстном покрове этой породы есть переходное волокно, которое можно устранить путём скрещивания с породами, имеющими более тонкий и уравненный пух, и последующим отбором особей с желательными признаками [3]. При этом необходимо учитывать корреляционные отношения фенотипических признаков: живая масса – настриг шерсти или начёс пуха, тонина пуха – начёс пуха и его длина, молочная продуктивность – энергия роста молодняка. Корреляции, обусловленные взаимодействием генов, связанных с продуктивными признаками, представляют особый ин-

терес в оценке и прогнозировании развития селекционно-значимых признаков.

У коз, в отличие от крупного рогатого скота, SNP структурных генов изучено и описано немного. Тем не менее ряд исследователей показали значимость для селекции коз изучения полиморфизма генов BLG, IGF, CSN3 и определения желательных генотипов.

Ген BLG коз находится на 11-й хромосоме и представлен 4 аллелями, среди которых наиболее распространённые А и В [4]. Частота генотипов (BLG^{AA} , BLG^{AB} , BLG^{BB}) у разных пород коз значительно различается. Так, по некоторым данным [5, 6], у 79 % коз зааненской породы и у 92,1 % коз альпийской породы встречается генотип BLG^{BB} , тогда как у коз нубийской породы частота генотипов BLG^{BB} и BLG^{AB} практически одинаковая (50%). В то же время в другом стаде коз зааненской породы частота генотипа BLG^{AA} составляла 68 %, на долю генотипа BLG^{BB} приходилось 32 %. Молоко коз с генотипом BLG^{AA} характеризовалось повышенным содержанием жира (+0,17 %), белка (+0,11 %), лактозы (+0,09 %), СОМО (+0,17 %) [7].

Козы зааненской породы с гетерозиготным генотипом BLG^{AB} отличались более продолжительной лактацией, и от них получено больше молока на 110 кг, молочного жира – на 3,7, молочного белка – на 3,5 кг по сравнению с гомозиготными (BLG^{AA}) животными по этому гену [5]. Сравнительная оценка полиморфизм гена β -лактоглобулина (BLG) в стадах пуховых коз Республики Алтай показала, что генотип BLG^{S1S1} встречается чаще у коз алтайской белой пуховой породы на 8,3 и 11,5% ($p \leq 0,01$), чем у серых пуховых коз чуйского типа (СПК «Белтир»). Частота генотипа BLG^{S2S2} серых пуховых коз превосхо-

дит на 14,1–17,4 % белых ($p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$). Существенных отличий по гетерозиготному генотипу BLG^{SIS2} между белыми и серыми козами не выявлено [8].

Ген IGF-1 (инсулиноподобный фактор роста 1) представляет собой полипептид, по структуре и функциям похожий на инсулин. Он участвует в эндокринной, аутокринной и паракринной регуляции процессов роста, развития и дифференцировки клеток и тканей организма. Инсулиноподобный фактор роста представляет собой белок, который у человека кодируется геном IGF-1. Одним из важных эффектов IGF-1 является стимуляция роста костей в длину. Его уровень является лучшим маркером для оценки продукции гормона роста [9]. Как показал ряд исследований [10–12], полиморфные варианты IGF-1 оказали влияние на рост и развитие курдской, аборигенной египетской и индийских пород коз.

Молочная продуктивность самок – важный селекционный признак не только для производства молока, но и для вскармливания потомства, находящегося на подсосе, так как в его первый период 1,5–2 месяца молоко матери является единственным кормом для них.

Количество и качество молочного питания молодняка в первые месяцы жизни оказывает глубокое воздействие на формирование их конституции и активное становление жизненно важных систем организма. В молочном козоводстве для увеличения товарности молока используют различные технологии вскармливания козлят: ранний отъем, смешанное и искусственное вскармливание [13]. Молочность коз алтайской белой пуховой породы за 5 месяцев лактации в среднем составила 1049 кг при жирности молока 4,36% с колебаниями по отдельным животным от 3 до 6% [14]. Такая высокая изменчивость при равных условиях кормления и содержания может быть обусловлена генетическими различиями генов, экспрессирующих белки молока. Большинство белков, содержащихся в молоке домашних жвачных животных, кодируется хорошо охарактеризованными генами: LALAB, BLG, CSN1S1, CSN1S2, CSN2 и CSN3 (α -LA; β -LG; и α S1-, α S2-, β - и κ -казеины), особенно у крупного рогатого скота [15–17].

Ген CSN3, как доказано многочисленными исследованиями, связан с качественным составом молока коров, особенно его сыропригодностью. У овец и коз отечественных

пород полиморфизм этого гена практически не изучен. По данным S.K. Kiplagat и др. [18], наиболее распространённым аллелем этого гена у коз Восточной Африки был $CSN3^B$ – 0,750–0,953. У молочных коз из Колумбии частота генотипов CSN3 составляет: AA – 0,781, AB – 0,206, BB – 0,013 [19]. Авторами установлено, что наиболее желательный генотип по содержанию жира – $CSN3^{AA}$.

Козы белой кашемировой породы шанбей (Shaanbei White Cashmere) обладают мутацией по α S1-казеину, кодируемой геном CSN1S1, обозначенной как генотип II, которая связана с числом козлят при первом окоте. Авторы рекомендуют селекционировать коз с этой мутацией для увеличения многоплодия [19, 20].

Показанные различия в частоте генотипов гена CSN3 у коз и ассоциативная связь некоторых генотипов с качественными показателями молока позволяют рассматривать его в качестве потенциального маркера этой продуктивности.

Цель выполненной работы – выявление полиморфизма генов BLG, IGF-1 и CSN3 у коз алтайской белой пуховой породы и связи их генотипов с пуховой и молочной продуктивностью.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе использованы образцы крови и молока коз алтайской белой пуховой породы (113 голов) из ООО «Кайрал» (Республика Алтай).

Молекулярно-генетические исследования проведены в лаборатории биотехнологии СибНИПТИЖ СФНЦА РАН. ДНК выделяли из крови, консервированной ЭДТА КЗ, с использованием набора для экстракции из клинического материала «Ампли Прайм ДНК-сорб-В» по прописи изготовителя ООО «НекстБио». Определение полиморфизма генов BLG, IGF, CSN3 осуществляли методом ПЦР-ПДРФ (табл.1) с использованием амплификатора C1000 BioRad. Визуализацию и идентификацию генотипов определяли электрофорезом в 2 %-м агарозном геле использованием гельдокументирующей системы E-Vox-CX5.TS-20.M (Франция) в УФ-свете [21–23].

Праймеры для полимеразной цепной реакции
Polymerase chain reaction primers

Ген	Олигонуклеотидная последовательность праймеров	Рестриктаза	Источник
BLG	F 5'-CGG GAG CCT TGG CCC TCT GG-3' R 5'-CCT TTG TCG AGT TTG GGT GT-3'	Sac III	C. Elmaci et al., [21]
IGF	F 5'-CACAGCGTATTATCCCCAC-3' R 5'-GACACTATGAGCCAGAAG-3'	Hae III	Liu Wu-Jun et al., [22]
CSN3	F 5'-TCC CAA TGT TGT ACT TTC TTA ACA TC-3' R 5'-GCG TTG TCC TCT TTG ATG TCT CCT TAG-3'	Hae III	A. Kumar et al., [23]

Качественные показатели молока: содержание жира, протеина, лактозы, солей, СОМО, плотность определяли на анализаторе «Лактоскан СП». Расчет калорийности молока коз на 100 г проводили на заранее известных показателях БЖУ (белки – жиры – углеводы). Метод расчета – суммирование этих данных (полученных лабораторным анализом и вычислениями) предварительно умноженных на величину равную, выделяющейся энергии (калориям) при их расщеплении [24]. Частоты аллелей и генотипов, их ошибку вы-

числяли по формулам Л.А. Животовского и др. [25].

Полученные данные обрабатывались с использованием методов вариационной статистики по общепринятым методам [26] и компьютерных программ Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Генотипы животных определяли на основе данных электрофореграмм (рис. 1–3).

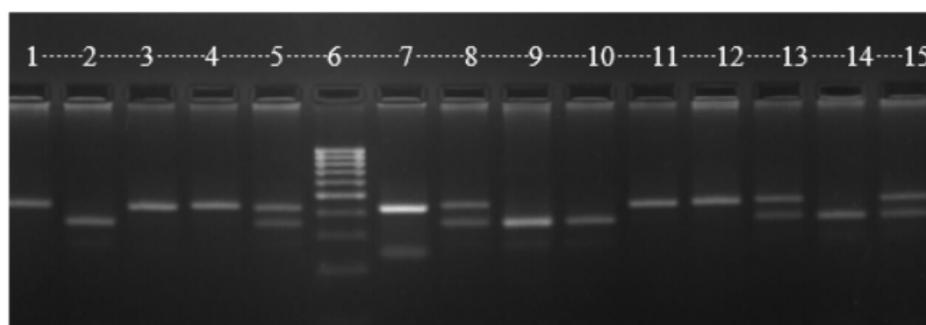


Рис. 1. Электрофоретическое разделение фрагментов рестрикции гена BLG: 2, 9, 10, 14 – BLG^{S1S1}; 1, 3, 4, 11, 12 – BLG^{S2S2}; 5, 8, 13, 15 – BLG^{S1S2}; 6 – маркер молекулярных масс Step 100 (Biolabmix, Новосибирск; 100-1000 bp)

Fig. 1. Electrophoretic separation of the restriction fragments of BLG gene: 2, 9, 10, 14 – BLG^{S1S1}; 1, 3, 4, 11, 12 – BLG^{S2S2}; 5, 8, 13, 15 – BLG^{S1S2}; 6 – molecular weight marker Step 100 (Biolabmix, Novosibirsk; 100-1000 bp)

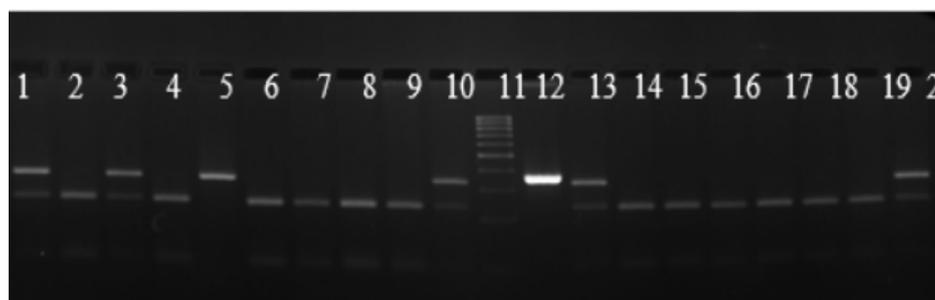


Рис. 2. Электрофоретическое разделение фрагментов рестрикции гена IGF: 5 – IGF^{AA}; 1, 3, 10, 20 – IGF^{AB}; 2, 4, 6-9, 14-19 – IGF^{BB}; 11 – маркер молекулярных масс Step 100 (Biolabmix, Новосибирск; 100-1000 bp); 12 – амплификат

Fig. 2. Electrophoretic separation of IGF gene restriction fragments: 5 – IGF^{AA}; 1, 3, 10, 20 – IGF^{AB}; 2, 4, 6-9, 14-19 – IGF^{BB}; 11 – Step 100 molecular weight marker (Biolabmix, Novosibirsk; 100-1000 bp); 12 – amplificant

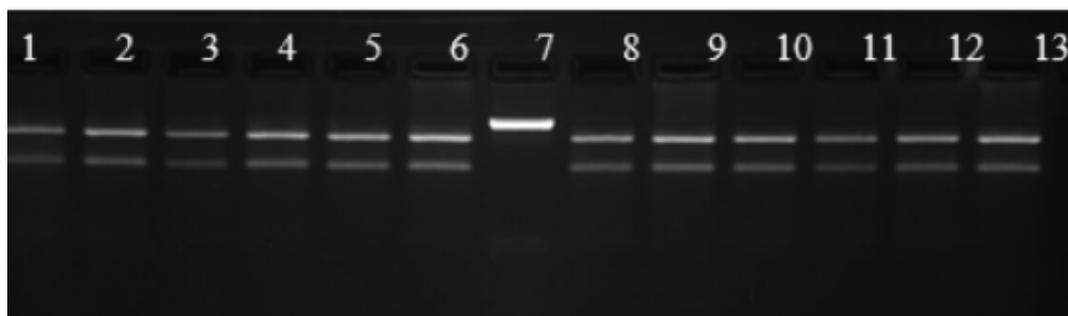


Рис. 3. Электрофоретическое разделение фрагментов рестрикции гена CSN3: 1–6, 8–13 – CSN3^{AA}; 7 – амплификат

Fig. 3. Electrophoretic separation of restriction fragments of the CSN3 gene: 1 – 6, 8–13 – CSN3^{AA}; 7 – amplificant

Исследования показали, что у коз алтайской белой пуховой породы в гене BLG выявлено три генотипа с соотношением: BLG^{S1S1} – 17,7, BLG^{S1S2} – 57,52, BLG^{S2S2} – 24,78%. Частота аллелей BLG^{S1} – 0,46, BLG^{S2} – 0,54 (табл. 2). В гене IGF1 выявлено три генотипа с частотой IGF^{AA} – 2,65, IGF^{AB} – 28,32, IGF^{BB} –

69,03%, соответственно частота аллелей IGF^A – 0,17, IGF^B – 0,83. По гену CSN3 все исследуемые животные оказались мономорфными по аллелю CSN3^A. Анализ фактического и теоретического распределения генотипов BLG и IGF1 генов коз свидетельствует о генетическом равновесии в стаде.

Таблица 2

Распределение частот генотипов и аллелей по генам BLG и IGF1 алтайских белых пуховых коз (n = 113)
Distribution of genotype and allele frequencies for the BLG and IGF1 genes in Altai white fluffy goats (n = 113)

Генотип, %			Аллель		χ^2
<i>BLG</i>					
BLG ^{S1S1}	BLG ^{S1S2}	BLG ^{S2S2}	BLG ^{S1}	BLG ^{S2}	2,78
17,70±3,60	57,52±4,65***	24,78±4,06***	0,46±0,03	0,54±0,03	
<i>IGF1</i>					
IGF ^{AA}	IGF ^{AB}	IGF ^{BB}	IGF ^A	IGF ^B	0,02
2,65±1,51	28,32±4,24	69,03±4,35	0,17±0,02	0,83±0,02	

*** Различия между генотипами гена BLG статистически значимы, $p \leq 0,001$.

Сравнительная оценка полиморфизма генов BLG и IGF1 коз алтайской белой пуховой породы с козами других пород позволила выявить их некоторые особенности. Так, в исследованиях, проведенных на индийских молочных породах коз, установлено, что в породе Barki [27] частота гетерозиготного генотипа BLG^{S1S2} составляла 0,8. Козы породы Damascus характеризовались высокой частотой генотипа BLG^{S2S2} – 0,85, тогда как гетерозиготный генотип был выявлен с частотой 0,1. Промежуточное соотношение генотипов и аллелей наблюдалось у помесей этих пород (0,41 : 0,51 : 0,08). В исследованиях восьми индийских пород коз показано также преобладающее значение генотипа BLG^{S2S2}, частота

та которого находится в пределах 0,42 – 1,00. Генотип BLG^{S1S1} встречается крайне редко – от 0,0 до 0,23 [28]. У коз турецких пород, наоборот, генотип BLG^{S2S2} выявлен всего у 11 % животных, два других варианта генотипов встречаются практически поровну [20].

Исследования по связи изучаемых генов BLG и IGF с селекционно-значимыми признаками у коз алтайской белой пуховой породы представлены в табл. 3. Животные с генотипом IGF^{AB} имели больший начес пуха в сравнении с гомозиготным генотипом IGF^{AA}. По остальным показателям продуктивности у коз белой пуховой породы достоверных различий не выявлено.

Таблица 3

Пуховая продуктивность и живая масса алтайской белой пуховой породы коз с генотипами генов BLG и IGF (n = 113)

Fluffy productivity and live weight of Altai white fluffy goats with BLG and IGF genotypes (n = 113)

Показатель	Генотип		
	BLG ^{S1S1}	BLG ^{S1S2}	BLG ^{S2S2}
Живая масса, кг	40,60±0,80	39,85±0,44	40,89±0,72
Длина пуха, см	9,35±0,21	9,26±0,09	9,32±0,17
Начес пуха, г	0,68±0,03	0,68±0,01	0,70±0,02
Содержание пуха, %	72,50±0,92	72,77±0,49	72,68±0,79
Тонина пуха, мкм	19,30±0,16	19,10±0,07	19,10±0,12
	IGF ^{AA}	IGF ^{AB}	IGF ^{BB}
Живая масса, кг	39,67±2,19	40,84±0,73	40,01±0,39
Длина пуха, см	9,50±0,76	9,33±0,14	9,27±0,09
Начес пуха, г	0,62±0,07	0,72±0,02*	0,67±0,01
Содержание пуха, %	70,00±2,89	72,81±0,71	72,76±0,45
Тонина пуха, мкм	19,00±0,58	19,10±0,11	19,20±0,07

* Различия между генотипами гена IGF статистически значимы при $p \leq 0,05$.

Анализ данных показывает высокую уравниенность стада по живой массе и пуховой продуктивности (длина пуха, содержание

пуха в процентах, тонина пуха), т.е. низкой изменчивостью, за исключением начеса пуха (Cv – 16%) (табл. 4).

Таблица 4

Изменчивость признаков продуктивности алтайских белых пуховых коз
Variability in productivity traits of Altai white fluffy goats

Показатель	$\bar{x} \pm m$	σ	Cv, %
Живая масса, кг	40,24±0,34	3,61	8,99
Длина пуха, см	9,29±0,07	0,78	8,41
Начес пуха, г	0,68±0,01	0,11	16,61
Содержание пуха, %	72,70±0,38	4,01	5,52
Тонина пуха, мкм	19,13±0,06	0,61	3,16

Подсосный период козлят в пуховом козоводстве по принятой в хозяйстве технологии продолжается до 60 дней. В это время основным и единственным кормом козлят является молоко, от количества и качества которого зависит развитие молодого организма и его дальнейшая продуктивность и жизнеспособность.

При исследовании качественных показателей молока алтайских белых пуховых коз с разными генотипами BLG, IGF и CSN3 не выявлено достоверных различий. Наблюдается тенденция к увеличению содержания жира в молоке и калорийности молока у коз с генотипом IGF^{AA} – 7,62% (рис. 4, 5).

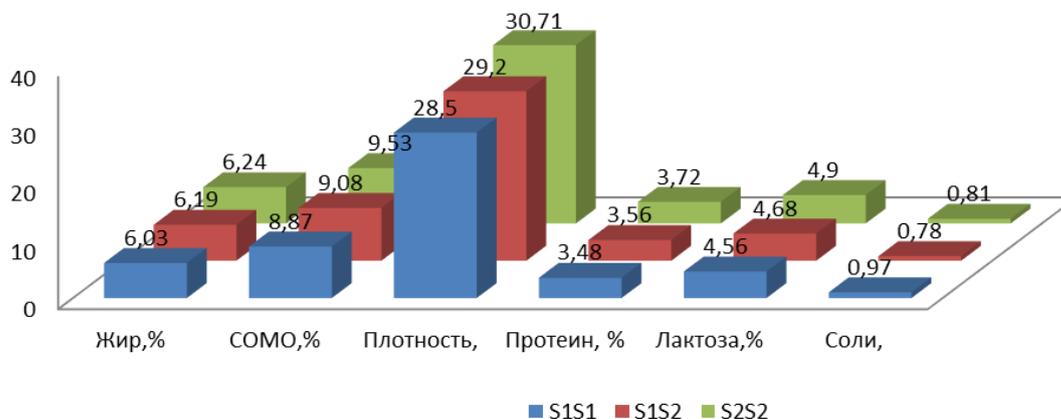


Рис. 4. Качественные показатели молока алтайских белых пуховых коз в зависимости от носительства генотипа по гену BLG

Fig. 4. Quality indices of Altai white fluffy goat milk depending on the carriage of the BLG genotype

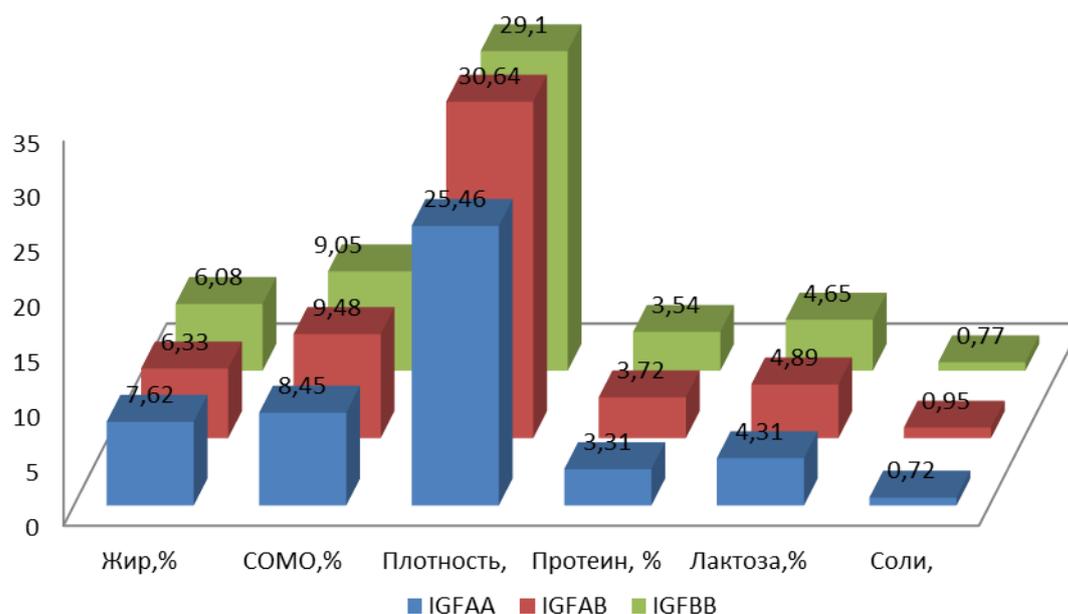


Рис. 5. Качественные показатели алтайских белых пуховых коз в зависимости от носительства генотипа по гену IGF

Fig. 5. Quality indices of Altai white fluffy goats depending on IGF genotype carriage

При анализе молока коз алтайской белой пуховой породы (n = 108) не установлено влияния полиморфизма по генам BLG и IGF на калорийность молока (ккал/100 г):

BLG ^{S1S1}	85,51 ± 4,39
BLG ^{S1S2}	87,73 ± 2,54
BLG ^{S2S2}	89,73 ± 3,31
IGF ^{AA}	98,24 ± 7,35
IGF ^{AB}	90,43 ± 4,03
IGF ^{BB}	86,54 ± 2,10

В работе А. Кумар и др. [29] доказано влияние полиморфизма генов на показатели пищевой ценности и формирование молочной продуктивности коз. Установлено, что в продуктах из молока коз с генотипом CSN1S1^{AA} содержание белка было на 4,5 % выше, чем из молока животных с генотипом CSN1S1^{FF}, что обосновывает целесообразность отбора носителей аллеля CSN1S1^A.

По данным О.А. Кравцовой [30], козы с генотипами T2T2/S1S2/D1D2 и T2T2/S2S2/D1D1 по генам weaver/BLG/POU1F1 имели более высокое содержание жира и белка в молоке (5,64 и 3,63 %), чем козы других генотипов (4,08 и 3,32 %).

ВЫВОДЫ

1. В алтайской белой пуховой породе коз в гене BLG выявлено три генотипа с частотой BLG^{S1S1} – 17,7%; BLG^{S1S2} – 57,5; BLG^{S2S2} – 24,8; соответственно частота аллелей BLG^{S1} – 0,46; BLG^{S2} – 0,54. В гене IGF также выявлено три генотипа с частотой IGF^{AA} – 2,7; IGF^{AB} – 28,3 и IGF^{BB} – 69,0. Частота аллелей составляет: IGF^A – 0,17; IGF^B – 0,83. Ген CSN3 у коз алтайской белой пуховой породы мономорфный по аллелю CSN3^A.

2. Пуховая продуктивность исследованных животных составляет: начёс – 680 г, толщина пуха – 19,13 мкм, длина пуха – 9,29 см.

3. Животные с генотипом IGF^{AB} имели больший начёс пуха в сравнении с гомозиготным генотипом IGF^{AA}.

4. При исследовании качественных показателей молока алтайских белых пуховых коз с разными генотипами BLG, IGF и CSN3 не выявлено достоверных различий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ежегодник по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2020 год)*. – М.: Изд-во ВНИИПлем, 2021. – 321 с.

2. *Белые пуховые козы на Алтае* / А.Т. Подкорытов, Т.Б. Каргачакова, М.И. Селионова, Н.А. Подкорытов // Вестник АПК Ставрополья. – 2017. – № 1 (25). – С. 95–97.
3. *Каргачакова Т.Б., Чикалёв А.И.* Пуховая продуктивность коз в зависимости от тонины пуха // Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Горно-Алтайского гос. ун-та. – 2019. – С. 155–156.
4. *Caroli A.M., Chessa S., Erhardt G.J.* Invited review: milk protein polymorphisms in cattle: effect on animal breeding and human nutrition // J. Dairy Sci. – 2009. – Vol. 92. – P. 5335–5352. – DOI: 10.3168/jds.2009–246.
5. *Оценка* молочной продуктивности и качества молока коз в зависимости от породы и генотипа по гену BLG (бета-лактоглобулина) / А.С. Шуварикив, О.Н. Пастух, Е.В. Жукова, Н.А. Жижин // Известия ТСХА. – 2019. – Вып. 3. – С. 130–148.
6. *Желтова О.А., Шуварикив А.С., Гладырь Е.А.* Молочная продуктивность и качество молока коз с различными генотипами по гену бета-лактоглобулина // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2011. – № 3. – С. 80–83.
7. *Фатихов А.Г., Хаертдинов Р.А., Камалдинов И.Н.* Белковый состав и технологические свойства молока у зааненских коз в зависимости от их генотипа по бета-лактоглобулину // Молочно-хозяйственный вестник. – 2017. – № 1 (25). – С. 64–69.
8. *Пуховая* продуктивность и генотипические особенности по полиморфизму гена BLG и группам крови коз Горного Алтая / Г.М. Гончаренко, Т.Б. Каргачакова, Н.Б. Гришина, Т.С. Хорошилова, О.Л. Халина // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 3 (56). – С. 94–101.
9. *Геннадиник А.Г., Нелаева А.А.* Роль инсулиноподобного фактора роста-1 в метаболизме, регуляторов клеточного обновления и старении // Ожирение и метаболизм. – 2010. – № 2. – С. 10–15.
10. *Evaluation of Polymorphism in IGF-1 and IGFB-3 genes and their Relationship with twinning Rate and growth traits in Markhoz goats* / S. Resouli, A. Abdolmohammadi, A. Zebarjadi, A. Mostafaei // Annals of Animal Science. – 2017. – Vol. 17, N 1. – P. 23.
11. *Othman O.E., Abdel-Samad M.F., El-Maaty N.A.A.* Evaluation of insulin-like growth factor-1 gene polymorphism in Egyptian small ruminant breeds // African Journal of Biotechnology. – 2016. – Vol. 15, N 48. – P. 2714–2719.
12. *Sequence characterization and genetic variability analysis of GHR, IGF1, and IGFB-3 genes in nine Indian goat breeds* / A. Sharma, G. Dutt, S. Jayakumar [et al.] // Journal of Applied Animal Research. – 2015. – Vol. 42, N 3. – P. 361–365.
13. *Экономическая* эффективность разведения племенных коз при разных технологических приёмах получения молока / С.И. Новопашина, М.Ю. Санников, З.А. Халимбеков, Е.И. Кизилова // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. – 2011. – Т. 1, № 4–1. – С. 121–123.
14. *Каргачакова Т.Б., Чикалёв А.И.* Молочная продуктивность алтайских белых пуховых коз // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. материалов XVI Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 кн. – Барнаул, 2021. – С. 100–102.
15. *Характеристика* линий породы крупного рогатого скота сибирячка по генам CSN3, BLG, LALBA, LEP и их связь с молочной продуктивностью / Г.М. Гончаренко, Н.Б. Гришина, М.А. Шишкина, Т.С. Хорошилова, О.Л. Халина, А.А. Шукюрова, Д.А. Авадани // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2021. – Т. 51, № 5. – С. 58–67.
16. *Молочная* продуктивность и качество молока коров татарстанского типа с разными генотипами по локусам генов пролактина и соматотропина / И.Ю. Гилемханов, Л.Р. Загидуллин, Т.М. Ахметов, С.В. Тюлькин, Х.Х. Гильманов, Р.Р. Вафин, Р.Р. Шайдуллин // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2021. – Т. 247, № 3. – С. 47–50.
17. *Сердюк Г.Н., Позовникова М.В.* ДНК-маркеры и их влияние на молочную продуктивность коров // Кормопроизводство, продуктивность, долголетие и благополучие животных: материалы междунар. науч.-практ. конф. – 2018. – С. 55–58.
18. *Genetic polymorphism of kappa-casein gene in indigenous Eastern Africa goat populations* / S.K. Kiplagat, M. Agaba, I.S. Kosgey [et al.] // International Journal of Genetics and Molecular Biology. – 2010. – Vol. 2 (1). – P. 001–005.

19. *Longitudinal data analysis of polymorphisms in the κ -casein and β -lactoglobulin genes shows differential effects along the trajectory of the lactation curve in tropical dairy goats / Samir Julián Calvo Cardona, Henry Cardona Cadavid, Juan David Corrales [et al.] // American Dairy Science Association – 2016. – Vol. 99. – P. 7299–7307.*
20. *A novel indel within goat casein alpha S1 gene is significantly associated with litter size / K. Wang, Y. Hailong, H. Xu [et al.] // Gene. – 2018. – Vol. 671. – P. 161–169. – DOI: 10.1016/j.gene.2018.05.119).*
21. *Elmaci C., Oner Y., Koyuncu M. Allelic Frequencies of a SacII RELP at Exon 7 of the β -lactoglobulin gene in Turkish hair Goat breed. Asian Journal of Animal and Veterinary Advances. – 2009. – N 4 (3). – P. 130–133.*
22. *The Polymorphism of a Mutation of IGF-1 Gene on Two Goat Breeds in China / Liu Wu-Jun, Fang Guang-Xin [et al.] // Journal of Animal and Veterinary Advances. – 2010. – N 9(3). – P. 790–794.*
23. *Kappa-casein gene polymorphism in Indian goats / A. Kumar, P.K. Rout, A. Mandal, R. Roy // Indian J. Biotechnol. – 2009. – Vol. 8. – P. 214–217.*
24. *Химический состав российских пищевых продуктов: справочник / под ред. член-корр. МАИ, проф. И. М. Скурихина и акад. РАН, проф. В.А. Тутельяна. – М.: ДеЛи принт, 2002. – 236 с.*
25. *Животовский Л.А., Сороковой П.Ф., Машуров А.М. О вычислении индексов сходства между популяциями животных по частотам генов, контролирующим полиморфные признаки // Генетика. – 1973. – Т. 4, № 4. – С. 122–127.*
26. *Меркурьева Е.К. Биометрия в животноводстве. – М., 1977.*
27. *Polymorphism of β -lactoglobulin gene in Barki and Damascus and their cross breed goats in relation to milk yield / A.A. El-Hanafy, M.A. El-Saadani, M. Eissa [et al.] // Biotechnology in Animal Husbandry. – 2010. – Vol. 26 (1–2). – P. 1–12.*
28. *Kumar A., Rout P.K., Roy R. Polymorphism of beta-lactoglobulin gene in Indian goats and its effect on milk yield // J. Appl. Genet. – 2006. – Vol. 47. – P. 49–53.*
29. *Casein polymorphism in goat's milk / D. Marletta, A. Criscione, S. Bordonaro [et al.] // Lait. Dairy-Journal. – 2008. – Vol. 87 (6). – P. 491–504.*
30. *Кравцова О.А., Спиридонова С.В., Фаузов Т.Х. Способ генетического отбора молочных коз: патент RU 2620977; Заявка № 2015140586 от 24.09.2015; Опубл. 30.05.2017; Бюл. № 16.*

REFERENCES

1. *Ezhegodnik po plemennoj rabote v ovcevodstve i kozovodstve v ho-zjajstvah Rossijskoj Federacii (2020 god)* (Yearbook on breeding work in sheep and goat breeding in the farms of the Russian Federation (2020)), Moscow: Izdatel'stvo VNIIPlem, 2021, 321 p.
2. *Podkorytov A.T., Kargachakova T.B., Selionova M.I., Podkorytov N.A., Vestnik APK Stavropol'ja, 2017, No. 1 (25), pp. 95–97. (In Russ.)*
3. *Korgachakova T.B., Chikaljov A.I., Aktual'nye problemy sel'skogo ho-zjajstva gornyh territorij* (Actual problems of agriculture in mountainous areas), Proceedings of the Conference Title, 2019, pp. 155–156. (In Russ.)
4. *Caroli A.M., Chessa S., Erhardt G.J., Invited review: milk protein polymorphisms in cattle: effect on animal breeding and human nutrition, J. Dairy Sci., 2009, Vol. 92, pp. 5335–5352., DOI: 10.3168/jds.2009–246.*
5. *Shuvarikov A.S., Pastuh O.N., Zhukova E.V., Zhizhin N.A., Izvestija TSHA, 2019, Vyp. 3, pp. 130–148. (In Russ.)*
6. *Zheltova O.A., Shuvarikov A.S., Gladyr' E.A., Ovcy, kozy, sherstjanoe delo, 2011, No. 3, pp. 80–83. (In Russ.)*
7. *Fatihov A.G., Haertdinov R.A., Kamaldinov I.N., Molochno-hozjajstvennyj vestnik, 2017, 1 (25), pp. 64–69. (In Russ.)*
8. *Goncharenko G.M., Kargachakova T.B., Grishina N.B., Horoshilova T.S., Halina O.L., Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet), 2020, No. 3 (56), pp. 94–101. (In Russ.)*
9. *Gennadinik A.G., Nelaeva A.A., Ozhirenie i matabolizm, 2010, No. 2, pp. 10–15. (In Russ.)*
10. *Resouli S., Abdolmohammadi A., Zebarjadi A., Mostafaei A., Evaluation of Polymorphism in IGF-1 and IGFB-3 genes and their Relationship with Twinning Rate and growth traits in Markhoz goats, Annals of Animal Science, 2017, Vol. 17, No. 1, pp. 23.*

11. Othman O.E., Abdel-Samad M.F., El-Maaty N.A.A., Evaluation of insulin-like growth factor-1 gene polymorphism in Egyptian small ruminant breeds, *African Journal of Biotechnology*, 2016, Vol. 15, No. 48, pp. 2714–2719.
12. Sharma A., Dutt G., Jayakumar S., Saroha V., Dixit S.P., Sequence characterization and genetic variability analysis of GHR, IGF1, and IGFB-3 genes in nine Indian goat breeds, *Journal of Applied Animal Research*, 2015, Vol. 42, No. 3, pp. 361–365. (In Russ.)
13. Novopashina S.I., Sannikov M.Ju., Halimbekov Z.A., Kizilova E.I., *Sbornik nauchnyh trudov Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva i kormoproizvodstva*, 2011, T.1, No. 4–1, pp. 121–123. (In Russ.)
14. Kargachakova T.B., Chikaljov A.I., *Agrarnaja nauka – sel'skomu hozjajstvu* (Agricultural Science – Agriculture), Proceedings of the Conference Title, Barnaul, 2021, pp. 100–102. (In Russ.)
15. Goncharenko G.M., Grishina N.B., Shishkina M.A., Horoshilova T.S., Halina O.L., Shukjurova A.A., Avadani D.A., *Sibirskij vestnik sel'skohozjajstvennoj nauki*, 2021, T. 51, No. 5, pp. 58–67. (In Russ.)
16. Gilemhanov I.Ju., Zagidullin L.R., Ahmetov T.M., Tjul'kin S.V., Gil'manov H.H., Vafin R.R., Shajdullin R.R., *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny im. N.Je. Baumana*, 2021, T. 247, No. 3, pp. 47–50. (In Russ.)
17. Serdjuk G.N., Pozovnikova M.V., *Kormoproizvodstvo, produktivnost', dolgoletie i blagopoluchie zhivotnyh*, Proceedings of the Conference Title, 2018, pp. 55–58.
18. Kiplagat S.K., Agaba M., Kosgey I.S., Okeyo M., Indetie D., Hanotte O., Limo M.K., Genetic polymorphism of kappa-casein gene in indigenous Eastern Africa goat populations, *International Journal of Genetics and Molecular Biology*, 2010, Vol. 2 (1), pp. 001–005.
19. Samir Julián Calvo Cardona, Henry Cardona Cadavid, Juan David Corrales Sebastián Munilla, Rodolfo J.C. Cantet, Andrés Rogberg-Muñoz, Longitudinal data analysis of polymorphisms in the κ -casein and β -lactoglobulin genes shows differential effects along the trajectory of the lactation curve in tropical dairy goats, *American Dairy Science Association*, 2016, Vol. 99, pp. 7299–7307.
20. Wang K., Hailong Y., Xu H., Yang Q., Zhang S., Pan C., Chen H., Zhu H., Liu J., Qu L., Lan X., A novel indel within goat casein alpha S1 gene is significantly associated with litter size, *Gene*, 2018, Vol. 671, pp. 161–169.
21. Elmaci C., Oner Y., Koyuncu M., Allelic Frequencies of a SacII RELP at Exon 7 of the β -lactoglobulin gene in Turkish hair Goat breed, *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2009, No 4 (3), pp. 130–133.
22. Liu Wu-Jun, Fang Guang-Xin et al., The Polymorphism of a Mutation of IGF-1 Gene on Two Goat Breeds in China, *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2010, No 9 (3), pp. 790–794.
23. Kumar A., Rout P.K., Mandal A., Roy R., Kappa-casein gene polymorphism in Indian goats, *Indian J. Biotechnol*, 2009, Vol. 8, pp. 214–217.
24. *Himicheskij sostav rossijskih pishhevyh produktov* (Chemical composition of Russian food products), Spravochnik, Moscow: DeLi print, 2002, 236 p.
25. Zhivotovskij L. A., Sorokovoj P.F, Mashurov A. M., *Genetika*, 1973, T. 4, No. 4, pp. 122–127. (In Russ.)
26. Merkur'eva E.K., *Biometriya v zhivotnovodstve* (Biometrics in animal husbandry), Moscow, 1977.
27. El-Hanafy A.A., El-Saadani M.A., Eissa M., Maharem G.M., Khalifa Z.A., Polymorphism of β -lactoglobulin gene in Barki and Damascus and their cross breed goats in relation to milk yield, *Biotechnology in Animal Husbandry*, 2010, 26 (1–2), pp. 1–12.
28. Kumar A., Rout P. K., and Roy R., Polymorphism of beta-lactoglobulin gene in Indian goats and its effect on milk yield, *J. Appl. Genet*, 2006, Vol. 47, pp. 49–53.
29. Marletta D., Criscione A., Bordonaro S., Guastella A.M., D'Urso G., Casein polymorphism in goat's milk, *Lait. Dairy-Journal*, 2008, Vol. 87 (6), pp. 491–504.
30. Kravcova O.A., Spiridonova S.V., Faizov T.H., *Sposob geneticheskogo otbora molochnyh koz* (Method for genetic selection of dairy goats), Patent RU 2620977; Zayavka No. 2015140586 ot 24.09.2015; Opubl. 30.05.2017; Byul. No. 16.