ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2381
https://elibrary.ru/WIJQQE

Оригинальная статья
https://fptt.ru

# Характеристика сезонных изменений белкового состава молока хайнака

**Р. Ш. Элеманова**

*Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика*

*Поступила в редакцию: 11.01.2022*
*Принята после рецензирования: 28.03.2022*
*Принята к публикации: 05.04.2022*

*Р. Ш. Элеманова: elemanova@kstu.kg, https://orcid.org/0000-0002-2974-958X*

*© Р. Ш. Элеманова, 2022*

**Аннотация.**
Вопрос изучения качественного состава молока, потребляемого населением, является актуальным. Цель исследования – изучение белкового состава молока хайнака (гибрид яка и коровы), разводимого в условиях высокогорья Северного Кыргызстана, в зависимости от сезона года.
Объектом исследования являлось молоко хайнака из фермерских хозяйств, расположенных в Иссык-Кульской области на высоте 2840 м над уровнем моря. Применялись стандартные методы исследования, в том числе ВЭЖХ-анализ и капиллярный электрофорез.
Массовая доля белка в молоке хайнака варьируется в пределах 3,91–4,39 %. Массовая доля белка в молоке хайнака весеннего, летнего и осеннего сезонов выше коровьего на 0,54, 1,02 и 0,84 % соответственно. Содержание общего азота в образцах молока трех сезонов коррелирует с массовой долей белка в них, т. е. к лету наблюдалось максимальное значение этого показателя – 0,689 ± 0,004 %. Содержание небелкового азота оставалось практически на одном уровне – 0,0489–0,0496 %. В весеннем молоке наблюдалось максимальное содержание сывороточных белков – на 0,2 % больше, чем в летнем (0,94 ± 0,05 %) и осеннем (0,97 ± 0,05 %). По содержанию казеиновых белков повышение отмечено в летнем молоке (на 1 % от холодного периода). Среднее содержание $\beta$-лактоглобулина в молоке хайнака составило 2,35 мг/см$^3$, $\alpha$-лактальбумина – 2,12 мг/см$^3$. По аминокислотному составу молоко хайнака сбалансировано, за исключением триптофана. В теплый сезон содержание большинства незаменимых аминокислот было выше, чем в холодный ($P < 0,05$), что соответствовало изменениям содержания общего белка.
Молоко хайнака отличается более высоким содержанием белка и отдельных составляющих в сравнении с коровьим. Это позволяет рекомендовать этот вид нетрадиционного молочного сырья для выработки белковых продуктов (сыра, творога и др.), в том числе функциональных.

**Ключевые слова.** Молоко, хайнак, сезон, массовая доля белка, небелковый азот, сывороточные белки, аминокислотный состав

**Финансирование.** Исследование проводилось в рамках гранта Японского агентства международного сотрудничества в Кыргызстане.

**Для цитирования:** Элеманова Р. Ш. Характеристика сезонных изменений белкового состава молока хайнака // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 3. С. 555–569. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2381

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2381
https://elibrary.ru/WIJQQE

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

# Seasonal Changes in the Protein Composition of Khainak Milk

**Rimma Sh. Elemanova**

*I. Razzakov Kyrgyz State Technical University, Bishkek, Kyrgyz Republic*

*Received: 11.01.2022*
*Revised: 28.03.2022*
*Accepted: 05.04.2022*

*Rimma Sh. Elemanova: elemanova@kstu.kg, https://orcid.org/0000-0002-2974-958X*

*© R.Sh. Elemanova, 2022*

**Abstract.**
The qualitative composition of commercial milk is a relevant issue of the food industry. The khainak, or yattle, is a hybrid between the yak and domestic cattle. The research objective was to study the seasonal protein composition of khainak milk from the Northern Kyrgyzstan highlands.
The study featured samples of khainak milk obtained from farms located in the Issyk-Kul region at an altitude of 2840 m above sea level. Standard research methods included high pressure liquid chromatography and capillary electrophoresis.
Khainak milk has more protein than cow milk, and the mass fraction of protein in it is 3.91–4.39%. In this research, the mass fraction of protein in khainak milk obtained in spring, summer, and autumn exceeded that of cow milk by 0.54, 1.02, and 0.84%, respectively. The total nitrogen content correlated with the mass fraction of protein, i.e., it was at its highest in summer (0.689 ± 0.004%). The content of non-protein nitrogen remained almost the same (0.0489–0.0496%). Spring milk contained by 0.2% more whey protein than summer milk (0.94 ± 0.05%) and autumn milk (0.97 ± 0.05%). Summer milk demonstrated a 1% increase in casein proteins, compared to spring and autumn samples. The average $\beta$-lactoglobulin content was 2.35 mg·mL$^{-1}$, while $\alpha$-lactoalbumin was 2.12 mg·mL$^{-1}$ of the total albumin fraction. In terms of amino acid composition, khainak milk was balanced except for tryptophan. In the warm season, the content of essential amino acids was higher than in the cold season ($P < 0.05$), which corresponded to the changes in total protein content.
Khainak milk is richer in protein and some other components than cow milk, which makes it a valuable non-traditional dairy raw material for such protein products as cheese or cottage cheese, including their functional variants.

**Keywords.** Milk, khainak, season, protein content, non-protein nitrogen, whey protein, amino acids

**Funding.** The research was conducted as part of a grant from the Japan International Cooperation Agency (JICA) in Kyrgyzstan.

**For citation:** Elemanova RSh. Seasonal Changes in the Protein Composition of Khainak Milk. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(3):555–569. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2381

## Введение

Постановлением Правительства Кыргызской Республики № 320 от 27 июня 2019 г. утверждена «Программа продовольственной безопасности и питания в Кыргызской Республике на 2019–2023 годы». В числе приоритетных задач обозначены стимулирование отечественного производства основных продуктов питания за счет роста эффективности сельского хозяйства и искоренение всех форм недоедания и недостаточного питания.

Однако на начало 2022 г. все еще актуальной остается проблема достижения полноценного питания населения в стране, в том числе обеспечение продуктами, богатыми белковой составляющей. В 2019 г. около 48 % населения Кыргызской Республики не могло себе позволить здоровое питание. Это было связано с его высокой стоимостью – $5,23 в сутки. Потребление белка далеко от необходимого суточного уровня, особенно в беднейших регионах. По данным Национального статистического комитета Кыргызской Республики на 2019 г. потребление молока и молочных продуктов на душу населения составляет 84 кг/год, тогда как нормой считается в среднем 200 кг/год.

Сельское хозяйство является ключевым сектором экономики Кыргызской Республики: в нем занято около 40 % рабочей силы страны. Однако проблема обеспечения населения базовыми продуктами питания остается нерешенной. Для ее решения рассмотрены вопросы диверсификации рациона питания,

а именно поиск новых источников пищевого сырья с повышенным содержанием полноценных белков.

Наряду с коровьим молоком набирает обороты спрос на нетрадиционное молоко и получаемую из него продукцию [1–3]. По данным Национального статистического комитета Кыргызской Республики, на 2020 г. поголовье коров составляло 855,5 тыс., объемы производства сырого молока – 1668 тыс. т. Кроме того, практикуется разведение яков. Это связано с географическими особенностями Кыргызстана, где имеется более 1 млн га высокогорных труднодоступных пастбищных угодий, использование которых эффективно исключительно для разведения яков [4]. Поголовье яков Кыргызской Республики сосредоточено в следующих видах (категориях) хозяйств: в крестьянских (фермерских) – 21,6 тыс., личных подсобных хозяйствах граждан – 10,9 тыс., коллективных – 2,3 тыс. и в государственных – 1,4 тыс. Самое большое количество яков разводится в Нарынской и Иссык-Кульской областях, меньше – в Ошской [5]. Население низменных районов о яках мало знает, но для жителей горных местностей они всегда были и будут ценным источником мяса и молока. Молочная продуктивность ячих невелика и составляет в среднем 709 л за год [6]. При таких надоях ячье молоко остается только употреблять для домашних нужд, поскольку объектом продажи его сделать трудно. В районах разведения яков излишки молока продаются на рынках, но в ограниченных объемах. Статистический учет объемов производства молока яка и его гибрида в республике не ведется.

По географическому ареалу распространения яков встречается также его гибрид с коровой (*Bos grunniens*×*Bos taurus*) – хайнак или хайнык, дзо (монг. хайнаг) [7–12]. Гибридизация яка и крупного рогатого скота происходит естественным и искусственным путями. В естественных условиях як и крупный рогатый скот имеют ограниченный размах гибридизации [13].

Гибриды крупного рогатого скота и яка отличаются такой же устойчивостью к высокогорью, как и чистокровные яки, но имеют высокий надой молока даже на более низких высотах [14]. Гибриды характеризуются гетерозисом по удоям и содержанию жира по сравнению с чистокровными яками [15]. Также гибриды имеют более высокую эффективность использования грубых кормов, чем крупный рогатый скот, что может быть отнесено к яку-родителю [7, 16]. Кроме того, некоторые характеристики качества молока у потомства могут быть отнесены либо к яку, либо к корове. Например, более высокое содержание минералов и незаменимых аминокислот, которые обладают противовоспалительными свойствами [17– 22].

Лактация коров яков и хайнаков продолжается с апреля – мая по октябрь – ноябрь. Доение самок яков и их гибридов, как и коров крупного рогатого скота, происходит с подпуском телят. Молочная продуктивность яков и хайнаков невелика, но их молоко очень ценится. По своей питательной ценности оно может заменить 3–4 л коровьего молока. В среднем ячиха дает 300 л за лактацию, корова хайнака – 600–700 л [23]. Гибрид яка и индийской горной коровы, называемый на аборигенном языке «чури», производит больше молока, чем корова. Также молоко «чури» отличается более высокой жирностью, чем коровье [24].

Удой бурятских яков за 180–210 дней лактации в среднем составил 356 кг при средней жирности 6,6 %. Молоко яков, выпасаемых на пастбищах Кабардино-Балкарской Республики, содержит 7,9 % жира, 5,8 % белка и 5,6 % молочного сахара. Химический состав молока ячих, разводимых в суровых условиях Кош-Агачского района Республики Алтай, следующий: 7,7 % жира, 5,3 % белка и 5,1 % лактозы [25].

Молоко яка и хайнака, в отличие от коровьего, имеет более высокую плотность и содержит больше жира, белков, углеводов и жирорастворимых витаминов, в частности каротина, который придает молоку желтый цвет и высокие вкусовые качества.

Особенность молока яка и хайнака – это мощная коагуляция из-за высокого содержания белков и минеральных веществ (соли кальция и фосфора). Внутренняя часть мицелл казеина представлена гидрофобными $\alpha$- и $\beta$-казеинами. Поверхность мицелл покрыта $\kappa$-казеинами, в состав которых входят длинные гидрофильные макропептидные цепочки, образующие «волосковый» защитный слой, не позволяющий мицеллам слипаться в водном растворе. Условия коагуляции при сычужном свертывании молока связаны с тем, что макропептидные «волоски» $\kappa$-казеина отщепляются химозином. Во время кислотной коагуляции смещается ионное равновесие с уменьшением электрического заряда макропептидных «волосков». Кроме того, дополнительный заряд мицелл возникает при диссоциации мицеллярного казеината кальция, зависящей от концентрации ионов кальция. Это объясняет роль кальция в коагуляции молока [26, 27]. Особые условия коагуляции казеина молока хайнака не подтверждены литературными источниками. Влияние генетических вариантов молочного белка на физико-химические свойства и функциональность молока, включая сычужную и кислотную коагуляцию, термостабильность, пенообразование и возможное влияние на протеолиз, остаются актуальными темами исследований, особенно с точки зрения выбора направления молока для конкретных целей. Установлено, что генотип $\beta$-CN влияет на надои, выход жира и белка, а на содержание белка – генотипы $\alpha_{S1}$-CN и $\kappa$-CN. На свертывание молока влияют генотипы $\alpha_{S1}$-CN, $\beta$-CN, $\kappa$-CN, $\beta$-LG и их соединения. Влияние генетических вариантов на термостабильность связано только с $\kappa$-CN и $\beta$-LG [28].

Таблица 1. Химический состав молока яка, хайнака и крупного рогатого скота [29]

Table 1. Chemical composition of yak, khainak, and cow milk samples [29]

| Показатели | Монгольский крупно рогатый скот | Як | Хайнак |
|---|---|---|---|
| Массовая доля жира, % | 4,28 | 6,79 | 5,58 |
| Массовая доля общего белка, % | 3,42 | 5,03 | 4,29 |
| Массовая доля лактозы, % | 4,75 | 5,10 | 4,84 |
| Плотность, °А | 29,61 | 33,08 | 32,00 |
| Сухие вещества, % | 13,25 | 17,78 | 15,64 |
| Минеральные вещества, % | 0,88 | 0,89 | 0,93 |
| Соли кальция, мг/100 мл | 124,91 | 130,60 | 134,00 |
| Соли фосфора, мг/100 мл | 97,82 | 106,22 | 134,82 |

Химический состав молока яка, хайнака и крупного рогатого скота показан в таблице 1.

Молока хайнака, обитающего в Кыргызстане, содержит 17,26–17,85 % сухих веществ, в числе которых жир 6,6–6,8 %, белок 5,5–5,7 %, казеин 4,1–4,2 % и лактоза 4,2–4,4 % [4].

На надои и состав молока влияют сезонные изменения, а также период лактации, изменяющиеся в течение года рационы кормления, условия содержания животных и др.

В исследовании [30] оценивалось влияние различных групп гибридов крупного рогатого скота и яка (*Dimjo Chauries* – чаури), обитающих в непальских гималайских горах на высоте 4200 м над уровнем моря, на удои и состав молока в разные сезоны. Максимальный суточный надой с получением молока высокой калорийности отмечен в пик летнего сезона (июль). К осени содержание белка снижается. Эти различия автор объясняет качественной и количественной доступностью корма.

Отел у ячих и хайнаков начинается в конце марта и длится до мая. Такая выраженная сезонность обеспечивает рождение молодняка только в благоприятные месяцы, а круглогодичное пастбищное содержание стимулирует его рост и развитие. Молозиво яков и их гибридов отличается высоким содержанием сухого вещества. Молозивный период продолжается 6–8 дней и через 2–4 дня происходит снижение содержания жира и белка в молозиве. По химическому составу молозиво гибридов (хайнаков) занимает промежуточное положение между исходными видами, т. е. ячихами и коровами [31]. Молозиво гибридов содержит в 5 раз больше белков, чем обычное молоко. Это увеличение обеспечивается сывороточными белками, которые являются для новорожденных телят основным источником защитных иммуноглобулинов, лизоцима, функционально активных лейкоцитов и лимфоцитов. В белках молозива преобладают перевариваемые альбумины и глобулины [32].

В зависимости от сезона года претерпевает изменения также аминокислотный состав белков молока [33].

За последние полвека нет данных по химическому составу молока кыргызских хайнаков, разводимых в условиях экстремального высокогорья, хотя местное население использует его в достаточном количестве.

В Кыргызстане на высокогорных пастбищах во время зимних стоянок животноводческие постройки представляют собой огороженные загоны. Яков и их гибридов в помещение не закрывают. Они сами могут заходить в укрытие при сильном снижении температуры воздуха или усилении ветра. С приходом весны и сходом снега животные выпасаются в долинах недалеко от жилища человека. Перекочевка высоко в горы на летние пастбища происходит в конце мая – начале июня. К этому времени травянистый покров на высокогорных пастбищах достигает достаточной высоты. На высокопродуктивных альпийских и субальпийских лугах животные хорошо нагуливаются, подрастает молодняк. Яков и хайнаков пригоняют с летних пастбищ в долины во второй половине сентября. Здесь они выпасаются до установления высокого снежного покрова, а затем кормятся по горным склонам, свободным от сплошного снега. К началу зимы молочная продуктивность хайнаков резко снижается и вскоре лактация прекращается.

Цель работы – изучить сезонные изменения белкового состава молока хайнака, разводимого в Кыргызстане, для последующей оценки технологической направленности его переработки.

Для реализации поставленной цели были определены следующие задачи:

– исследовать молоко хайнака весеннего, летнего и осеннего сезонов на содержание белка, небелкового азота, белков сывороточной и казеиновой фракций, а также аминокислотный состав;
– определить биологическую ценность белков молока хайнака.

**Объекты и методы исследования**

Объектом экспериментальных исследований, проведенных в период с 2019 по 2021 гг., стало молоко хайнака из фермерских хозяйств, расположенных в Иссык-Кульской области Кыргызской Республики на высоте 2840 м над уровнем моря. Образцы были взяты у пяти лактирующих хайнаков с одинаковыми периодами отела (30–40-ой день лактации). Сборное молоко отбирали в чистую, заранее подготовленную посуду. Отфильтрованное через тканый фильтр молоко наливали в специальные стерильные пакеты для хранения и замораживания молока.

Часть лабораторных исследований молока по определению белкового состава за 2021 г. проведена в ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности».

Для определения белкового состава применяли следующие методы анализа:

– массовая доля белка и общего азота – методом Кьельдаля по ГОСТ 23327-98;
– содержание сывороточных белков – по ГОСТ 34536-2019;
– содержание небелкового азота – по ГОСТ Р 55246-2012;
– содержание казеиновых белков – по СТБ ISO 17997-1-2012;
– содержание лактоферрина – по ГОСТ 33600-2015;
– массовая доля истинного белка – по ГОСТ Р 52054-2003.

***Подготовка проб сыворотки молока хайнака для проведения ВЭЖХ-анализа.*** Молоко хайнака содержит большое количество казеина, который затрудняет использование хроматографических методов. Процедура подготовки проб заключалась в осаждении казеиновой фракции исследуемого образца. Обезжиренное молоко хайнака нагревали на водяной бане до температуры 40–45 °С и постепенно вносили 10 %-ный раствор уксусной кислоты до достижения pH 4,6. По истечении 30 мин свернувшееся молоко охлаждали до комнатной температуры и центрифугировали при 10000 об/мин в течение 10 мин. Полученный фильтрат хранили при 4 °С.

***Методика ВЭЖХ-анализа сыворотки молока хайнака.*** Для исследования пептидного состава образцов использовалась хроматографическая колонка ReproSil-Pur 300 ODS-3.5 мкм 250×4,6 мм с химически привитой октадецилсилановой фазой, которая способна удерживать белки за счет гидрофобных связей, и размером пор 300 Å, позволяющим пептидам полноценно связываться с неподвижной фазой. Разделение проводили при помощи хроматографической системы фирмы Маэстро (Россия), оборудованной двумя насосами и динамическим смесителем, которые позволяют проводить градиентное элюирование аналитов в программируемом составе подвижной фазы. В качестве компонентов подвижной фазы были использованы бидистиллированная вода с добавлением в качестве ион-парного реагента трифторуксусной кислоты в количестве 0,1 % по объему и ацетонитрил как органический растворитель также с добавкой трифторуксусной кислоты 0,1 % по объему. Анализ образцов проводили при комнатной температуре со скоростью потока подвижной фазы 1 мл/мин. Объем вводимой пробы составил 20 мкл. Долю ацетонитрила в процессе проведения анализа увеличивали с 5 до 60 % в течение 30 мин. Обнаружение проводили при 214 нм с использованием спектрофотометрического детектора. Измерения произведены в 3-х повторностях.

***Методика приготовления образцов для отгонки аммиака и проведения анализа.*** Молоко хайнака обезжиривали центрифугированием при 10000 об/мин в течение 10 мин. Пробы молока доводили до температуры 20 ± 2 °С. Минерализацию образца проводили в присутствии концентрированной серной кислоты, окислителя и катализатора при температуре 420 °С. После полной минерализации приступали к отгонке аммиака в растворе борной кислоты и последующему количественному определению аммиака титриметрическим методом. Исследования проводили с применением следующего оборудования: для минерализации проб – дигестор HYP-320 (Hanon, Китай), для отгонки аммиака – автоматизированный дистиллятор K9840 (Hanon, Китай).

***Методика определения аминокислотного состава.*** Определение аминокислотного состава проводили с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель-205» (ООО Люмэкс, Россия). Измерения проводили в 2-х повторностях. За основу была взята методика М 04-38-2009. При подготовке проб с учетом получения производных использовали кислотный гидролиз. Для определения триптофана использовали щелочной гидролиз и прямое определение без получения производных. Для исследования каждого образца отбирали по три навески массой 2,5 г. К навеске № 1 последовательно добавляли 2,5 см$^3$ деминерализованной воды и 5 см$^3$ концентрированной соляной кислоты, герметично закрывали крышкой и перемешивали. Навеску № 2 помещали в кварцевую чашку и добавляли 5,0 см$^3$ свежеприготовленной окислительной смеси (смесь перекиси водорода и муравьиной кислоты в пропорции 1:9) для окисления пробы и защиты *Asp+Asn*, *Glu+Gln* и *Cys-Cys*. Смесь перемешивали и упаривали в потоке горячего воздуха досуха. Сухой остаток растворяли в 10 см$^3$ соляной кислоты в соотношении 1:1 с дистиллированной водой. К навеске № 3 добавляли горячий 50 %

Таблица 2. Схема проведения анализа

Table 2. Analysis scheme

| Параметры | Значение | | |
|---|---|---|---|
| | Схема анализа № 1 | Схема анализа № 2 | Схема анализа № 3 |
| Определяемые компоненты в порядке выхода | *Arg*, *Lys*, *Tyr*, *Phe*, *His*, *Leu+Ile*, *Met*, *Val*, *Hyp*, *Pro*, *Thr*, *Ser*, *Ala*, *Gly* | *Glu+Gln*, *Asp+Asn*, *Cys-Cys* | *Trp* |
| Температура, °C | 30 | | |
| Длина волны, нм | 254 | | 219 |
| Ввод пробы | 30 мбар, 5 с | | |
| Напряжение, кВ | 25 | | |
| Давление, мбар | 0 | 50 | 0 |
| Время анализа, мин | 15–16 | 12 | 6–7 |
| Фоновый электролит | 30 ммоль/дм$^3$ фосфат-ионов, 4 ммоль/дм$^3$ $\beta$-циклодекстрина | | 20 ммоль/дм$^3$ тетрабората натрия |

Таблица 3. Белковый состав молока хайнака в зависимости от сезона года

Table 3. Protein content of khainak milk depending on the season

| Показатели, % | Молоко хайнака сырое (собственные данные) | | | | Молоко коровье сырое [1] |
|---|---|---|---|---|---|
| | Весна (май) | Лето (август) | Осень (октябрь) | Среднее | |
| Массовая доля белка | 3,91 ± 0,06 | 4,39 ± 0,06 | 4,34 ± 0,06 | 4,21 ± 0,06 | 3,37 ± 0,09 |
| Содержание общего азота | 0,613 ± 0,004 | 0,689 ± 0,004 | 0,678 ± 0,004 | 0,66 ± 0,03 | 0,528 ± 0,006 |
| Содержание небелкового азота | 0,0489 ± 0,0030 | 0,0486 ± 0,0030 | 0,0301 ± 0,0030 | 0,0425 ± 0,0008 | 0,0320 ± 0,0030 |
| Массовая доля истинного белка | 3,59 ± 0,06 | 4,08 ± 0,06 | 4,13 ± 0,06 | 3,93 ± 0,24 | 3,16 ± 0,06 |
| Содержание сывороточных белков | 1,13 ± 0,05 | 0,94 ± 0,05 | 0,97 ± 0,05 | 1,01 ± 0,08 | 0,82 ± 0,05 |
| Содержание казеиновых белков | 2,47 ± 0,03 | 3,43 ± 0,03 | 3,16 ± 0,03 | 3,02 ± 0,40 | 2,57 ± 0,04 |
| Соотношение казеиновых и сывороточных белков | 71,1/28,9 | 78,6 /21,4 | 76,5/23,5 | 75,4/24,6 | 72,3/23,7 |

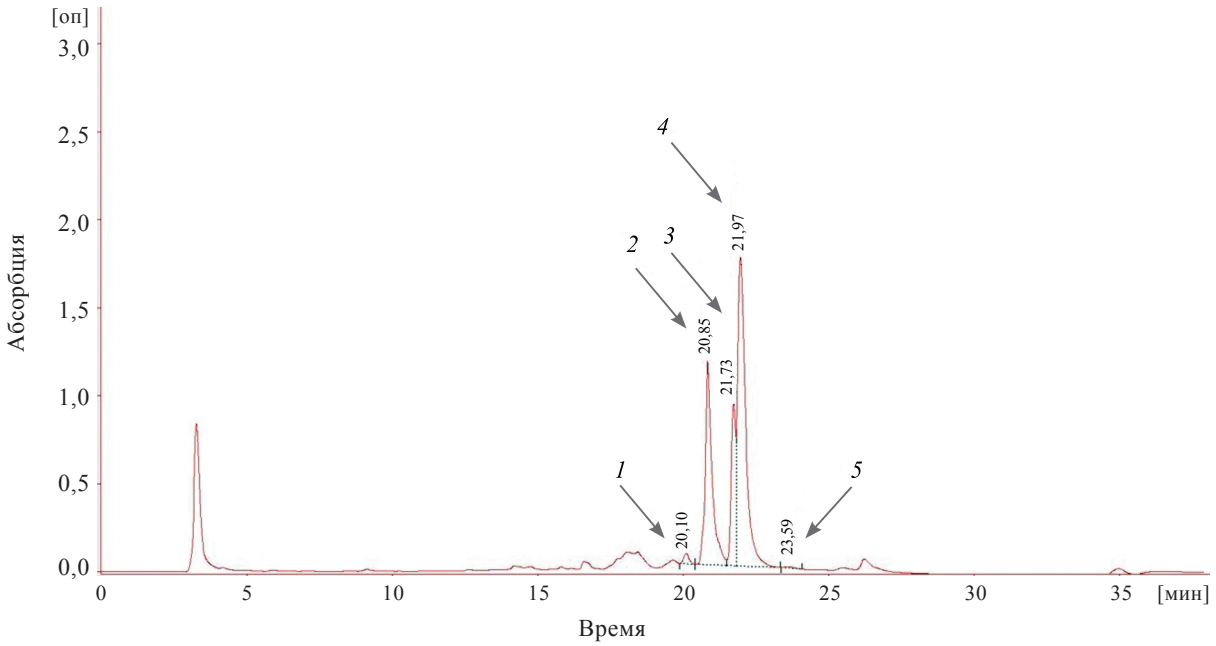
раствор гидроксида бария и перемешивали. Все пробы оставляли для проведения гидролиза в сушильном шкафу при температуре 110 °C на 14–16 ч. Горячий раствор с навеской № 3 переносили в мерную колбу на 50 см$^3$ с предварительно внесенной горячей деминерализованной водой 15–20 см$^3$. Далее в колбу добавляли несколько капель раствора метилового красного, а для нейтрализации раствора вносили раствор серной кислоты с концентрацией 2,0 моль/дм$^3$ до появления розовой окраски. Далее раствор охлаждали до комнатной температуры и доводили до метки деминерализованной водой. Для триптофана использовали прямое детектирование. Поэтому отбирали 1,5 см$^3$ полученного раствора и помещали в пробирку типа «Эппендорф», которую центрифугировали в течение 5 мин при 5000 об/мин. Схема проведения анализа приведена в таблице 2.

***Статистическая обработка результатов.*** Статистическую обработку и обобщение экспериментальных данных проводили при помощи прикладных сервисных программ Microsoft Office Excel 2010. Табличные результаты представлены как среднее арифметическое значение ± доверительный интервал. Достоверность различий между выборками данных определяли методом доверительных интервалов. Различия между средними значениями сравнивали при уровне значимости $P < 0,05$.

**Результаты и их обсуждение**

В ходе исследования был изучен белковый состав молока хайнака в зависимости от сезона года (весна, лето, осень) (табл. 3).

Согласно данным таблицы 3 массовая доля белка в молоке хайнака весеннего, летнего и осеннего сезонов превышала содержание белка в коровьем молоке на




*1* – альбумин сыворотки крови, *2* – *α*-лактальбумин, *3* – *β*-лактоглобулин А, *4* – *β*-лактоглобулин В, *5* – лактоферрин

Рисунок 1. Хроматографический профиль ВЭЖХ-анализа белков сыворотки молока хайнака при 214 нм

Figure 1. Chromatographic profile of HPLC analysis of khainak whey proteins at 214 nm

0,54, 1,02 и 0,84 % соответственно. Молоко летнего периода отличалось повышенным содержанием белка, что объясняется изменением качественного состава травяного покрова пастбищ. Растительный покров Иссык-Кульских альпийских лугов (2000–3500 м над уровнем моря) характеризуется наземными лишайниками, мхом, злаковыми (овсяница красная и Крылова, мятлик альпийский, осока) и разнотравьем. Более высокое содержание молочного белка в летний период подтверждается тем фактом, что к этому времени корма имели оптимальный рост с низким содержанием клетчатки, т. е. с повышенным образованием пропионовой кислоты при переваривании в рубце, которая используется для синтеза лактозы и белка [34]. Литературные данные подтверждают зависимость суточного надоя и получения молока с высокой калорийностью у лактирующих гибридов в июле от качества травы, когда травы на гималайских альпийских пастбищах начинают созревать [35].

Содержание общего азота в образцах молока трех сезонов коррелирует с массовой долей белка в них, т. е. к лету наблюдалось увеличение этого показателя. Содержание небелкового азота оставалось практически на одном уровне в весеннем и летнем молоке (0,0489 и 0,0496 %). Согласно данным [18] содержание небелкового азота в молоке менее изменчиво. Изменения зависят от температуры окружающей среды и аналогичны изменениям содержания белка.

Содержание сывороточных белков в молоке хайнака в лактационный период было выше весной, летом и осенью, чем в коровьем, на 0,31, 0,12 и 0,15 % соответственно. В весеннем молоке хайнака (в первые месяцы лактации) наблюдалось большее содержание сывороточных белков (примерно на 0,2 %), чем в летнем и осеннем. Однако известны данные о том, что содержание сывороточных белков в молоке китайского яка (*Maiva*) практически не изменилось между холодным и теплым сезонами [18].

По содержанию казеиновых белков повышение отмечено в летнем молоке хайнака (примерно на 1 % от холодного периода). Это согласуется с литературными данными, где отмечено, что суммарное содержание казеина в белке коровьего молока черно-пестрой породы возрастало до максимума в летние месяцы [36].

Хроматографический профиль ВЭЖХ-анализа белков сыворотки молока хайнака приведен на рисунке 1. Сравнительный количественный анализ основных сывороточных белков молока хайнака, в зависимости от сезона года, представлен в таблице 4.

Состав и содержание сывороточных белков молока хайнака зависят от генотипов крупного рогатого скота и яка. В геном белков молока хайнака войдут аллели соответствующих сывороточных белков от коровы и яка. Каждая из коров хайнака будет содержать

Таблица 4. Содержание отдельных фракций сывороточных белков в молоке хайнака в зависимости от сезона года

Table 4. Fractions of whey proteins in khaynak milk depending on the season

| Содержание фракций сывороточных белков, мг/см$^3$ | Молоко хайнака сырое (собственные данные) | | | | Коровье молоко [17] | Ячье молоко [17] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Весна (май) | Лето (август) | Осень (октябрь) | Среднее | | |
| Альбумин сыворотки крови (BSA) | 1,250 ± 0,005 | 1,280 ± 0,005 | 1,440 ± 0,005 | 1,320 ± 0,080 | 0,41 | 1,49 |
| $\alpha$-лактальбумин ($\alpha$-LA) | 2,10 ± 0,010 | 2,260 ± 0,010 | 2,010 ± 0,010 | 2,120 ± 0,103 | 1,24 | 0,72 |
| $\beta$-лактоглобулин А ($\beta$-LG A) | 0,690 ± 0,003 | 0,770 ± 0,003 | 0,930 ± 0,003 | 0,790 ± 0,090 | 3,30 | 0,74 |
| $\beta$-лактоглобулин Б ($\beta$-LG B) | 1,730 ± 0,008 | 1,480 ± 0,008 | 1,480 ± 0,008 | 1,560 ± 0,110 | | 5,49 |
| Лактоферрин | < 0 ,05 | 0,072 | 0,62 | 0,34 ± 0,20 | – | – |

в аллелях различные белки в зависимости от особенности гибридизации крупного рогатого скота и яка. Коровье молоко может быть гомозиготным, когда коровы содержат один и тот же тип варианта, или гетерозиготным, когда присутствуют два разных варианта с аллельным совместным доминированием [30, 37]. Имеющиеся в литературе немногочисленные данные о сывороточных белках молока яка и его гибрида с крупным рогатым скотом ограничивают обсуждение.

Согласно данным таблицы 4 среднее содержание альбумина сыворотки крови в молоке хайнака практически приближено к его содержанию в ячьем молоке – 1,32 и 1,49 мг/см$^3$ соответственно. Возможно, здесь сказывается генотип яка. Авторы [17] отмечали, что в среднем доля альбумина сыворотки крови в молоке яка была выше, по сравнению с коровьим, а индивидуальные вариации были высокими.

$\alpha$-Лактальбумин имеет два преобладающих генетических варианта (А и Б) [38]. Вариант Б обнаруживается в молоке большинства пород европейского крупного рогатого скота (*Bos taurus*), а в молоке индийского крупного рогатого скота (*Bos indicus*) встречаются оба варианта (Jenness, 1974). Разница между вариантами заключается в том, что вариант А в 10-ом положении белковой структуры содержит *Glu*, а вариант Б – *Arg* (Гордон, 1971). L. Wang и др. сообщили, что $\alpha$-LA (L8IIC8) в молоке яка имел 123 аминокислоты, их последовательность отличалась от $\alpha$-LA коровьего молока. В молоке домашнего яка аминокислотой в 71-ом положении был *Asn* (N), в коровьем – *Asp* (D) [39]. Эти различия проявляются в процессе хроматографии на времени удержания $\alpha$-LA. Время удержания $\alpha$-LA молока хайнака в минутах наступает раньше коровьего (на 19,5) и ячьего (на 18,25).

В исследуемом молоке хайнака из общего количества сывороточных белков $\alpha$-LA являлся вторым по содержанию (2,12 мг/см$^3$) после $\beta$-LG и превышал среднее содержание как в коровьем (1,24 мг/см$^3$), так и в ячьем молоке (0,72 мг/см$^3$). Его повышенное содержание в молоке хайнака представляет особый интерес и требует дальнейшего обсуждения и изучения. Литературные данные подтверждают, что $\alpha$-LA, являясь вторым основным сывороточным белком в коровьем молоке (2–5 % от общего белка), участвует в синтезе лактозы и способствует секреции молока. $\alpha$-LA связывает двухвалентные катионы ($Ca^{2+}$, $Zn^{2+}$) и может способствовать усвоению основных минералов. Кроме того, он обеспечивает хорошо сбалансированный запас незаменимых аминокислот для растущего организма. При его переваривании образуются пептиды с антибактериальными и иммуностимулирующими свойствами, что способствует защите от инфекции. $\alpha$-Лактальбумин может быть добавлен в смеси для детского питания для повышения его биологической ценности [40].

Среднее содержание $\beta$-лактоглобулина в молоке хайнака составило 2,35 мг/см$^3$. Время удержания $\beta$-LG молока хайнака в минутах наступает раньше коровьего (на 32,44) и ячьего (на 12,53). $\beta$-LG – основной сывороточный белок коровьего молока. Он является небольшим, димерным и растворимым в разбавленных солевых растворах [41]. Основное отличие между вариантами $\beta$-LG A и $\beta$-LG B заключается в наличии мутации D64G в остатках аминокислот 61–67, которая определяет их конформацию и делает вариант $\beta$-LG A менее растворимым. Это обеспечивает лучшие свойства олигомеризации и гелеобразования [42]. Содержание этих вариантов $\beta$-LG в молоке коров полностью зависит от генотипа. Гомозиготные животные будут содержать $\beta$-LG AA или $\beta$-LG BB, гетерозиготные – $\beta$-LG AB. Вариант AA связан с благоприятным производством молока и белка, тогда как вариант BB связан с высоким содержанием жира. Вариант AB связан с более высоким содержанием белка, в том числе казеина, за ним следуют варианты AA и BB [43]. Более высокое содержание казеина наблюдается в порядке BB > AB > AA, а для содержания сывороточного белка было AA, AB > BB [28]. Согласно данным L. Wang и др. $\beta$-LG ячьего молока имел 2 варианта: $\beta$-LG A (P02754) и $\beta$-LG E (L8J1Z0). Молоко домаш-

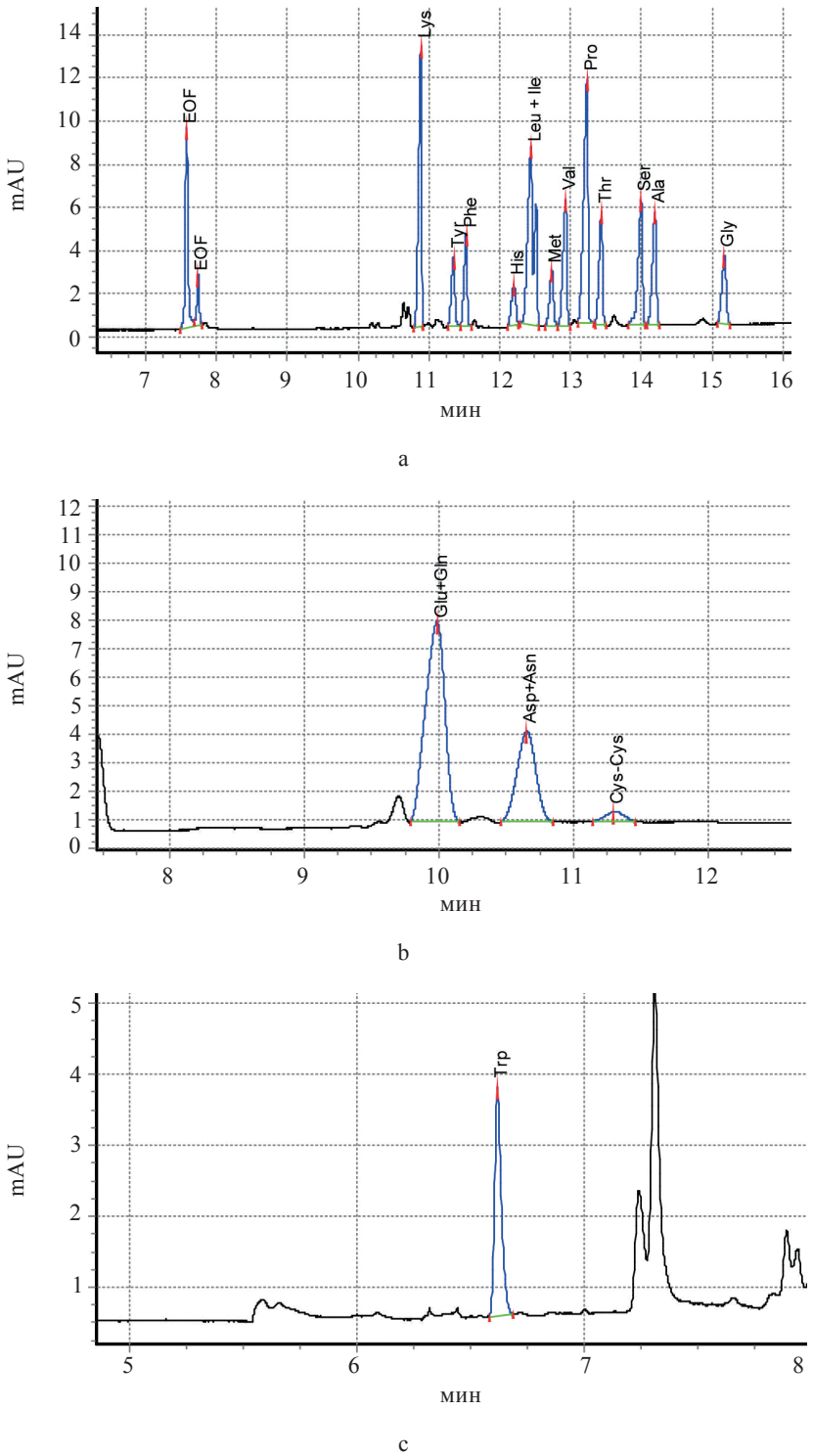



Рисунок 2. Электрофореграммы аминокислотного анализа белков молока хайнака (a – *Arg*, *Lys*, *Tyr*, *Phe*, *His*, *Leu+Ile*, *Met*, *Val*, *Hyp*, *Pro*, *Thr*, *Ser*, *Ala*, *Gly*; b – *Glu+Gln*, *Asp+Asn*, *Cys-Cys*; c – *Trp*)

Figure 2. Electropherograms of amino acid analysis of khainak milk proteins: a – *Arg*, *Lys*, *Tyr*, *Phe*, *His*, *Leu+Ile*, *Met*, *Val*, *Hyp*, *Pro*, *Thr*, *Ser*, *Ala*, *Gly*; b – *Glu+Gln*, *Asp+Asn*, *Cys-Cys*; c – *Trp*

них и диких яков содержало $\beta$-LG E, который отсутствовал в коровьем. У ячьего молока аминокислотой в 158-ом положении $\beta$-LG E был *Gly* (G), у крупного рогатого скота – *Glu* (E). Вторичные структуры $\alpha$-LA и $\beta$-LG яка отличались от таковых в коровьем молоке. Температуры денатурации

Таблица 5. Аминокислотный состав молока хайнака

Table 5. Amino acid composition of khainak milk

| Аминокислоты, мг/100 г | Молоко хайнака сырое (собственные данные) | | | | Коровье молоко [18] | Ячье молоко [18] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Весна (май) | Лето (август) | Осень (октябрь) | Среднее значение | | |
| Незаменимые аминокислоты | 1777 | 1956 | 1740 | 1824 | 1330 | 1950 |
| Треонин | 160 | 200 | 180 | 180 | 150 | 190 |
| Валин | 230 | 240 | 200 | 223 | 160 | 260 |
| Метионин | 100 | 115 | 110 | 108 | 60 | 110 |
| Лейцин+изолейцин | 550 | 590 | 480 | 540 | 430 | 670 |
| Фенилаланин | 220 | 270 | 250 | 247 | 160 | 220 |
| Лизин | 350 | 370 | 360 | 360 | 270 | 380 |
| Гистидин | 140 | 150 | 140 | 143 | 100 | 120 |
| Триптофан | 27 | 21 | 20 | 23 | 50 | – |
| Заменимые аминокислоты | 1834 | 2394 | 2275 | 2168 | 1950 | 2720 |
| Цистеин | 24 | 39 | 30 | 31 | 20 | 40 |
| Аргинин | 150 | 160 | 155 | 155 | 110 | 160 |
| Пролин | 440 | 490 | 480 | 470 | 320 | 460 |
| Аспарагиновая кислота | 200 | 290 | 270 | 253 | 260 | 330 |
| Серин | 230 | 270 | 260 | 253 | 160 | 230 |
| Глутаминовая кислота | 330 | 610 | 580 | 507 | 770 | 1050 |
| Глицин | 85 | 107 | 100 | 97 | 60 | 120 |
| Аланин | 160 | 208 | 190 | 186 | 100 | 140 |
| Тирозин | 215 | 220 | 210 | 215 | 150 | 220 |
| Общее содержание аминокислот | 3611 | 4350 | 4015 | 3992 | 3280 | 4670 |

$\alpha$-LA и $\beta$-LG ячьего молока составили 52,1 и 80,9 °C соответственно [39].

Соотношение $\beta$-LG A/$\beta$-LG B молока хайнака весной, летом и осенью составило 1:2,5, 1:1,9 и 1:1,5 соответственно. На изменчивость соотношения влияют генотипы молочного белка, стадия лактации, сезон, кормление и др. [44–47]. Некоторые данные свидетельствуют о сезонном влиянии на все фракции сывороточных белков даже при стойловом содержании коров [48].

Электрофореграммы аминокислотного анализа белков молока хайнака приведены на рисунке 2. Содержание аминокислот, в зависимости от сезона года, представлено в таблице 5.

Результаты показали (табл. 5), что содержание некоторых аминокислот в молоке хайнака не зависело от времени года. В теплый сезон содержание большинства незаменимых аминокислот было выше, чем в холодный ($P < 0,05$). Это соответствовало изменениям содержания общего белка (табл. 3).

Известны исследования аминокислотного состава молока китайского яка, который пасется в естественных условиях на высоте 3600 м над уровнем моря на Цинхай-Тибетском плато [18]. Согласно авторам все лактирующие коровы яков, независимо от возраста, породы или региона, имели тенденцию к пику надоев в летний сезон (с июня по август), когда трава была наилучшего качества и количества. После августа, когда температура воздуха падает, питательная ценность травяного покрова также снижается с соответствующим снижением количества общего азота, казеиновых белков и незаменимых аминокислот в ячьем молоке.

Для определения биологической ценности белка молока кыргызского хайнака проведена сравнительная оценка аминокислотного состава образцов молока по сезонам по отношению к «идеальному» белку. Результаты приведены на рисунке 3.

Результаты свидетельствуют о том, что лимитирующей незаменимой аминокислотой молока хайнака весеннего, летнего и осеннего сезонов является триптофан с аминокислотным скором 98,9, 68,3 и 65,8 % соответственно. По всем остальным незаменимым аминокислотам молоко хайнака трех сезонов биологически полноценное. Максимальный скор имеет гистидин (весна – 199,4 %, лето – 189,8 %, осень – 179,2 %). Гистидин выполняет уникальную роль в буферизации протонов, хелатировании ионов металлов, улавливании активных форм кислорода и азота, эритропоэзе и гистаминергической системе. Опыт нескольких десятилетий подтвердил эффективность гистидина как компонента, используемого для профилактики атопического дерматита, язв, воспалительных заболеваний кишечника, глазных заболеваний и неврологических расстройств [49]. Кроме того, аминокислоты служат не только предшественниками синтеза белка, но и сигнальными молекулами,

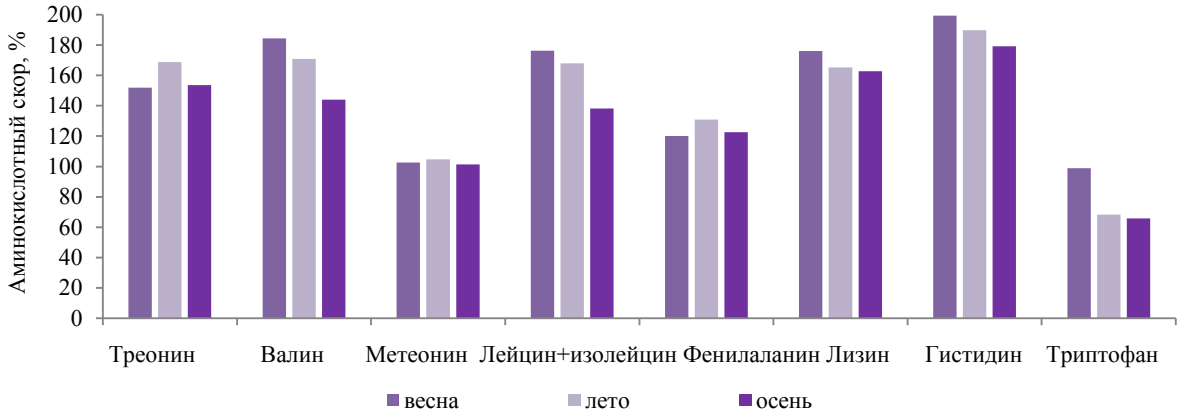



Рисунок 3. Сравнительная оценка аминокислотного состава белков молока хайнака по сезонам по отношению к «идеальному» белку

Figure 3. Comparative assessment of the amino acid composition of khainak milk samples by seasons in relation to the ideal protein

которые регулируют синтез молочного белка у млекопитающих [50, 51]. Лейцин и гистидин в дополнение к лизину и метионину являются основными незаменимыми аминокислотами в кормовых рационах [52, 53]. Отсутствие поступления гистидина являлось одной из главных причин, ограничивающих секрецию молочного белка. Некоторые эксперименты показали, что перфузия гистидина способствует синтезу молочного белка [54, 55]. Согласно H. N. Gao и др. введение гистидина от 0,15 до 9,60 ммоль/л увеличивало экспрессию $\alpha_{S2}$-казеина, $\beta$-казеина и $\kappa$-казеина [56]. Гистидин регулирует синтез белка через сигнальный путь мишени иммуносупрессанта рапамицина у млекопитающих (mTOR – mammalian target of rapamicin). Результаты исследования генетических факторов у ячих провинции Сычуань (Китай) подтвердили, что большинство экспрессированных генов увеличивались с 15 d и достигали пика в 30 или 60 d, а затем оставались относительно высоко экспрессированными. Отмечено, что для активации синтеза белков увеличение mTOR в период лактации наблюдалось уже в 1-й день [57]. Это подтверждает высокое содержание белка (4,0–5,9 %) в молоке яка. Повышенный уровень гистидина в молоке хайнака вероятно связан с казеином (максимум в летний сезон), что объясняется лучшими кормовыми условиями, а также явлением гетерозиса.

**Выводы**

Качество сырого молока потребители связывают с обитанием животных в экологически благополучной зоне. Например, горные территории, где животные содержатся в полудиком режиме. Гибрид яка и коровы – хайнак – как источник высокобелкового молока имеет особое значение в питании горцев в высокогорных условиях Тянь-Шаньской горной системы Северного Кыргызстана.

В результате экспериментальных исследований определены сезонные изменения белкового состава молока хайнака Иссык-Кульской области Кыргызской Республики. Молоко этого животного отличается высоким содержанием белка в сравнении с коровьим. Массовая доля белка в молоке хайнака весеннего, летнего и осеннего сезонов выше на 0,54, 1,02 и 0,84 % соответственно, чем в коровьем. Содержание общего азота в образцах молока трех сезонов коррелирует с массовой долей белка в них, т. е. к лету наблюдалось увеличение этого показателя (0,689 ± 0,004 %). Содержание небелкового азота оставалось практически на одном уровне в весеннем (0,0489 %) и летнем молоке (0,0496 %). Весеннее молоко более богато сывороточными белками (1,13 ± 0,05 %), чем летнее (0,94 ± 0,05 %) и осеннее (0,97 ± 0,05 %). По содержанию казеиновых белков повышение отмечено в летнем молоке хайнака (примерно на 1 % от холодного периода). Анализ фракционного состава сывороточных белков молока хайнака показал различия в процессе хроматографии на время удержания. Наблюдалось опережение в сравнении с данными для коровьего и ячьего молока. Среднее содержание $\beta$-лактоглобулина в молоке хайнака составило 2,35 мг/см$^3$, $\alpha$-лактальбумина – 2,12 мг/см$^3$. Соотношение $\beta$-LG A/$\beta$-LG B в молоке хайнака весной, летом и осенью составило 1:2,5, 1:1,9 и 1:1,5 соответственно. По аминокислотному составу молоко хайнака сбалансировано, за исключением триптофана. В теплый сезон содержание большинства незаменимых аминокислот было выше, чем в холодный ($P < 0,05$). Это соответствовало изменениям содержания общего белка. Максимальный скор имеет гистидин (весна – 199,4 %, лето – 189,8 %, осень –

179,2%) – уникальная аминокислота по химическим и биологическим свойствам.

Проведенный анализ белкового состава молока хайнака, обитающего в горных регионах Северного Кыргызстана, позволяет рекомендовать этот вид нетрадиционного молочного сырья для выработки белковых продуктов (сыра, творога и др.), в том числе функциональных.

**Конфликт интересов**

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарности**

Автор выражает благодарность д.т.н., профессору Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова М. М. Мусульмановой, директору ФГАНУ ВНИМИ А. Г. Галстяну, заведующей лабораторией техно-химического контроля и арбитражных методов анализа, руководителю испытательной лаборатории «МОЛОКО» ФГАНУ ВНИМИ Е. А. Юровой за оказанное содействие в проведении исследований.

**Conflict of interest**

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

**Acknowledgements**

The author expresses her gratitude to M.M. Musulmanova, Doctor of Technical Sciences, Professor of the I. Razzakov Kyrgyz State Technical University; A.G. Galstyan, Director of the All-Russian Dairy Research Institute; E.A. Yurova, Head of the Laboratory of Techno-Chemical Control and Arbitration Methods of Analysis, Head of the Testing Laboratory "MOLOKO" of the All-Russian Dairy Research Institute.

**References/Список литературы**

1. Meldenberg DN, Polyakova OS, Semenova ES, Yurova EA. Development of a comprehensive milk protein composition assessment from raw materials of various farm animals for the functional products production. Storage and Processing of Farm Products. 2020;(3):118–133. (In Russ.). https://doi.org/10.36107/spfp.2020.352

2. Ospanov AB, Kulzhanova BO, Shchetinina EM, Velyamov ShM, Makeeva RK, Bektursunova MD. The research of the physical-chemical composition and technological properties of sheep and goat milk during the summer lactation period. Storage and Processing of Farm Products. 2021;(2):64–74. (In Russ.). https://doi.org/10.36107/spfp.2021.237

3. Guo X, Long R, Kreuzer M, Ding L, Shang Z, Zhang Y, *et al.* Importance of functional ingredients in yak milk-derived food on health of Tibetan nomads living under high-altitude stress: A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2014;54(3):292–302. https://doi.org/10.1080/10408398.2011.584134

4. Musulmanova MM, Elemanova RSh, Dusheeva NS. Hainak milk as a raw material for creating functional products. Journal of Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov. 2019;50(2–2):164–171. (In Russ.). [Мусульманова М. М., Элеманова Р. Ш., Дюшеева Н. С. Молоко хайнака как сырье для создания функциональных продуктов // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2019. Т. 50. № 2–2. С. 164–171.].

5. Abdykerimov AA, Samykbaev AK, Bekzhanova EA, Iskembaeva AM, Buylashev UT. Yak of the Kyrgyz Republic. Vestnik of the Kyrgyz National Agrarian University K.I. Scriabin. 2016;37(1):66–70. (In Russ.). [Яководство Кыргызстана / А. А. Абдыкеримов [и др.] // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К. И. Скрябина. 2016. Т. 37. № 1. С. 66–70.].

6. Bekkuliev KM, Soburov KA, Turdubaev TZh, Kasmaliev MK, Kazybekova AA, Abdraeva GD, *et al.* Laser action on dairy efficiency yak. Vestnik of the Kyrgyz National Agrarian University K.I. Scriabin. 2015;34(2):74–80. (In Russ.). [Действие лазера на молочную продуктивность ячих / К. М. Беккулиев [и др.] // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К. И. Скрябина. 2015. Т. 34. № 2. С. 74–80.].

7. Shi F, Wang H, Degen AA, Zhou J, Guo N, Mudassar S, *et al.* Rumen parameters of yaks (*Bos grunniens*) and indigenous cattle (*Bos taurus*) grazing on the Qinghai-Tibetan Plateau. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2019;103(4):969–976. https://doi.org/10.1111/jpn.13095

8. Guo X, Bao P, Wu X, Yang Z, Shi S, Xiong L, *et al.* The complete mitochondrial genome of the hybrid of Jersey cattle (*Bos taurus*;♂)× Gannan yak (*Bos grunniens*;♀). Mitochondrial DNA Part B. 2019;4(2):4130–4131. https://doi.org/10.1080/23802359.2019.1692721

9. Long L, Zhu Y, Li Z, Zhang H, Liu L, Bai J. Differential expression of skeletal muscle mitochondrial proteins in yak, dzo, and cattle: a proteomics-based study. Journal of Veterinary Medical Science. 2020;82(8):1178–1186. https://doi.org/10.1292/jvms.19-0218

10. Hirata M. Milk culture of the Tibetan Plateau. In: Hirata M, editor. Milk culture in Eurasia. Singapore: Springer; 2020. pp. 197–242. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1765-5_6

11. Kour G, Singh A, Kumar P, Kumar D. An overview of diversified animal genetic resources in the Indian state of Jammu and Kashmir. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2018;7(10):3113–3121. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.710.361

12. Zhong J, Ma Z, Chai Z, Wang H, Zhang C, Ji Q, *et al.* Whole genome sequencing of the Dzo: Genetic implications for high altitude adaptation, sterility, and milk and meat production. Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi. 2018;24(6):835–844. https://doi.org/10.9775/kvfd.2018.20022

13. Gu X, Sun W, Yi K, Yang L, Chi F, Luo Z, *et al.* Comparison of muscle lipidomes between cattle-yak, yak, and cattle using UPLC–MS/MS. Journal of Food Composition and Analysis. 2021;103. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104113

14. Barsila SR, Kreuzer M, Devkota NR, Ding L, Marquardt S. Adaptation to Himalayan high altitude pasture sites by yaks and different types of hybrids of yaks with cattle. Livestock Science. 2014;169:125–136. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.09.004

15. Barsila SR, Devkota NR, Kreuzer M, Marquardt S. Effects of different stocking densities on performance and activity of cattle × yak hybrids along a transhumance route in the Eastern Himalaya. SpringerPlus. 2015;4(1). https://doi.org/10.1186/s40064-015-1175-4

16. Sha Y, Hu J, Shi B, Dingkao R, Wang J, Li S, *et al.* Characteristics and functions of the rumen microbial community of Cattle-Yak at different ages. BioMed Research International. 2020;2020. https://doi.org/10.1155/2020/3482692

17. Li H, Ma Y, Dong A, Wang J, Li Q, He S, *et al.* Protein composition of yak milk. Dairy Science and Technology. 2010;90(1):111–117. https://doi.org/10.1051/dst/2009048

18. Li H, Ma Y, Li Q, Wang J, Cheng J, Xue J, *et al.* The chemical composition and nitrogen distribution of Chinese yak (Maiwa) milk. International Journal of Molecular Sciences. 2011;12(8):4885–4895. https://doi.org/10.3390/ijms12084885

19. Chen Y, Qu S, Huang Z, Ren Y, Wang L, Rankin SA. Analysis and comparison of key proteins in Maiwa yak and bovine milk using high-performance liquid chromatography mass spectrometry. Journal of Dairy Science. 2021;104(8):8661–8672. https://doi.org/10.3168/jds.2021-20269

20. Yang L, Yang C, Chi F, Gu X, Zhu Y. A survey of the vitamin and mineral content in milk from yaks raised at different altitudes. International Journal of Food Science. 2021;2021. https://doi.org/10.1155/2021/1855149

21. Sowmya K, Bhat MI, Bajaj RK, Kapila S, Kapila R. Buffalo milk casein derived decapeptide (YQEPVLGPVR) having bifunctional anti-inflammatory and antioxidative features under cellular milieu. International Journal of Peptide Research and Therapeutics. 2019;25(2):623–633. https://doi.org/10.1007/s10989-018-9708-7

22. Numpaque M, Şanlı T, Anli EA. Diversity of milks other than cow, sheep, goat and buffalo: In terms of nutrition and technological use. Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology. 2019;7(12):2047–2053. https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i12.2047-2053.2623

23. Elemanova RSh, Musulmanova MM, Bodoshov AU, Dusheeva NS. Freeze-drying of Kyrgyz hainak milk. Current state and development prospects of agro-industrial complex and functional food production: Materials of the International Scientific and Practical Conference; 2020; Omsk. Omsk: Omsk State Agrarian University; 2020. p. 225–229. (In Russ.). [Сублимационная сушка молока хайнака кыргызского / Р. Ш. Элеманова [и др.] // Современное состояние, перспективы развития АПК и производства специализированных продуктов питания: Материалы Международной научно-практической конференции. Омск, 2020. С. 225–229.].

24. Khadka MS, Thapa G. Economic and financial returns of livestock agribusiness in high mountains of Nepal. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics. 2020;121(2):251–263. https://doi.org/10.17170/kobra-202010191973

25. Bakhtushkina AI, Koval AD. Milk production and milk chemical composition of yak females of the Altai population. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2020;190(8):81–86. (In Russ.). [Бахтушкина А. И., Коваль А. Д. Молочность и химический состав молока ячих алтайской популяции // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. Т. 190. № 8. С. 81–86.].

26. Osintsev AM, Braginsky VI, Rynk VV, Chebotarev AL. Specifics of milk and plant-based milk-like products coagulation. Food Processing: Techniques and Technology. 2018;48(3):81–89. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-81-89

27. Zhang J, Yang M, Cai D, Hao Y, Zhao X, Zhu Y, *et al.* Composition, coagulation characteristics, and cheese making capacity of yak milk. Journal of Dairy Science. 2020;103(2):1276–1288. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17231

28. Gai N, Uniacke-lowe T, O'regan J, Faulkner H, Kelly AL. Effect of protein genotypes on physicochemical properties and protein functionality of bovine milk: A review. Foods. 2021;10(10). https://doi.org/10.3390/foods10102409

29. Indra R, Magash A. Composition, quality and consumption of yak milk in Mongolia. Yak production in Central Asian highlands: Proceedings of the third international congress on yak held in Lhasa; P.R. China; 2000; Lhasa. Nairobi: International Livestock Research Institute; 2002. p. 493–498.

30. Barsila SR. Effect of parity in different grazing seasons on milk yield and composition of cattle × yak hybrids in the Himalayan alpines. Journal of Applied Animal Research. 2019;47(1):591–596. https://doi.org/10.1080/09712119.2019.1697274

31. Yuan M, Xia W, Zhang X, Liu Y, Jiang M. Identification and verification of differentially expressed genes in yak mammary tissue during the lactation cycle. Journal of Dairy Research. 2020;87(2):158–165. https://doi.org/10.1017/S0022029919001006

32. Van Hese I, Goossens K, Vandaele L, Opsomer G. *Invited review*: MicroRNAs in bovine colostrum – Focus on their origin and potential health benefits for the calf. Journal of Dairy Science. 2020;103(1):1–15. https://doi.org/10.3168/jds.2019-16959

33. Nayak CM, Ramachandra CT, Nidoni U, Hiregoudar S, Ram J, Naik N. Physico-chemical composition, minerals, vitamins, amino acids, fatty acid profile and sensory evaluation of donkey milk from Indian small grey breed. Journal of Food Science and Technology. 2020;57(8):2967–2974. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04329-1

34. So S, Wanapat M, Cherdthong A. Effect of sugarcane bagasse as industrial by-products treated with *Lactobacillus casei* TH14, cellulase and molasses on feed utilization, ruminal ecology and milk production of mid-lactating Holstein Friesian cows. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2021;101(11):4481–4489. https://doi.org/10.1002/jsfa.11087

35. Khachlouf K, Hamed H, Gdoura R, Gargouri A. Effects of zeolite supplementation on dairy cow production and ruminal parameters – a review. Annals of Animal Science. 2018;18(4):857–877.

36. Ostroumov LA, Shakhmatov RA, Kurbanova MG. Investigation of seasonal changes in fractional composition of milk proteins. Food Processing: Techniques and Technology. 2011;20(1):36a–41. (In Russ.). [Остроумов Л. А., Шахматов Р. А., Курбанова М. Г. Исследование сезонных изменений фракционного состава белков молока // Техника и технология пищевых производств. 2011. Т. 1. № 20. С. 36а–41.].

37. Kurchenko VP, Simonenko ES, Sushynskaya NV, Halavach TN, Petrov AN, Simonenko SV. HPLC identification of mare's milk and its mix with cow's milk. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(2):402–412. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-402-412

38. Fan XY, Qiu LH, Zhang YY, Teng XH, Miao YW. Polymorphism, molecular characteristics of alpha-lactalbumin (*LALBA*) gene in river and swamp buffalo. Russian Journal of Genetics. 2021;57(7):836–846. https://doi.org/10.1134/S1022795421070085

39. Wang L, Ma Y, Li H, Yang F, Cheng J. Identification and characterization of yak α-lactalbumin and *β*-lactoglobulin. Journal of Dairy Science. 2021;104(3):2520–2528. https://doi.org/10.3168/jds.2020-18546

40. Moloney C, O'Connor D, O'Regan J. Polar lipid, ganglioside and cholesterol contents of infant formulae and growing up milks produced with an alpha lactalbumin-enriched whey protein concentrate. International Dairy Journal. 2020;107. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104716

41. Joehnke MS, Lametsch R, Sørensen JC. Improved in vitro digestibility of rapeseed napin proteins in mixtures with bovine beta-lactoglobulin. Food Research International. 2019;123:346–354. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.05.004

42. Fei S, Zou L, Xie X, Yang F, Chen H, Li X. Purification and characterization of bovine β-lactoglobulin variants A and B (characterization of bovine *β*-lactoglobulin variants). Food Science and Technology Research. 2020;26(3):399–409. https://doi.org/10.3136/FSTR.26.399

43. Ozdemir M, Kopuzlu S, Topal M, Bilgin OC. Relationships between milk protein polymorphisms and production traits in cattle: A systematic review and meta-analysis. Archives Animal Breeding. 2018;61(2):197–206. https://doi.org/10.5194/aab-61-197-2018

44. Roin NR, Larsen LB, Comi I, Devold TG, Eliassen TI, Inglingstad RA, *et al.* Identification of rare genetic variants of the $\alpha_S$-caseins in milk from native Norwegian dairy breeds and comparison of protein composition with milk from high-yielding Norwegian Red cows. Journal of Dairy Science. 2022;105(2):1014–1027. https://doi.org/10.3168/jds.2021-20455

45. Bär C, Sutter M, Kopp C, Neuhaus P, Portmann R, Egger L, *et al.* Impact of herbage proportion, animal breed, lactation stage and season on the fatty acid and protein composition of milk. International Dairy Journal. 2020;109. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104785

46. Li S, Ye A, Singh H. Seasonal variations in composition, properties, and heat-induced changes in bovine milk in a seasonal calving system. Journal of Dairy Science. 2019;102(9):7747–7759. https://doi.org/10.3168/jds.2019-16685

47. Vanbergue E, Delaby L, Peyraud JL, Colette S, Gallard Y, Hurtaud C. Effects of breed, feeding system, and lactation stage on milk fat characteristics and spontaneous lipolysis in dairy cows. Journal of Dairy Science. 2017;100(6):4623–4636. https://doi.org/10.3168/jds.2016-12094

48. Bernabucci U, Basiricò L, Morera P, Dipasquale D, Vitali A, Piccioli Cappelli F, *et al.* Effect of summer season on milk protein fractions in Holstein cows. Journal of Dairy Science. 2015;98(3):1815–1827. https://doi.org/10.3168/jds.2014-8788

49. Holeček M. Histidine in health and disease: Metabolism, physiological importance, and use as a supplement. Nutrients. 2020;12(3). https://doi.org/10.3390/nu12030848

50. Dong X, Zhou Z, Wang L, Saremi B, Helmbrecht A, Wang Z. Increasing the availability of threonine, isoleucine, valine, and leucine relative to lysine while maintaining an ideal ratio of lysine: methionine alters mammary cellular metabolites, mammalian target of rapamycin signaling, and gene transcription. Journal of Dairy Science. 2018;101(6):5502–5514. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13707

51. Xu LB, Hanigan MD, Lin XY, Li MM, Yan ZG, Hu ZY, *et al.* Effects of jugular infusions of isoleucine, leucine, methionine, threonine, and other amino acids on insulin and glucagon concentrations, mammalian target of rapamycin (mTOR) signaling, and lactational performance in goats. Journal of Dairy Science. 2019;102(10):9017–9027. https://doi.org/10.3168/jds.2018-16102

52. Räisänen SE, Lage CFA, Fetter ME, Melgar A, Pelaez AM, Stefenoni HA, *et al.* Histidine dose-response effects on lactational performance and plasma amino acid concentrations in lactating dairy cows: 2. Metabolizable protein-deficient diet. Journal of Dairy Science. 2021;104(9):9917–9930. https://doi.org/10.3168/jds.2021-20189

53. Yoder PS, Huang X, Teixeira IA, Cant JP, Hanigan MD. Effects of jugular infused methionine, lysine, and histidine as a group or leucine and isoleucine as a group on production and metabolism in lactating dairy cows. Journal of Dairy Science. 2020;103(3):2387–2404. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17082

54. Lapierre H, Lobley GE, Ouellet DR. Histidine optimal supply in dairy cows through determination of a threshold efficiency. Journal of Dairy Science. 2021;104(2):1759–1776. https://doi.org/10.3168/jds.2020-19205

55. Räisänen SE, Lage CFA, Oh J, Melgar A, Nedelkov K, Chen X, *et al.* Histidine dose-response effects on lactational performance and plasma amino acid concentrations in lactating dairy cows: 1. Metabolizable protein-adequate diet. Journal of Dairy Science. 2021;104(9):9902–9916. https://doi.org/10.3168/jds.2021-20188

56. Gao H, Hu H, Zheng N, Wang J. Leucine and histidine independently regulate milk protein synthesis in bovine mammary epithelial cells via mTOR signaling pathway. Journal of Zhejiang University. Science B. 2015;16(6):560–572. https://doi.org/10.1631/jzus.B1400337

57. Xia W, Osorio Johan S, Yang Y, Liu DL, Jiang MF. *Short communication*: Characterization of gene expression profiles related to yak milk protein synthesis during the lactation cycle. Journal of Dairy Science. 2018;101(12):11150–11158. https://doi.org/10.3168/jds.2018-14715