

УДК: 636.2+637.046

DOI:10.52419/issn2072-2419.2025.4.347

## ЗАВИСИМОСТЬ АМИНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА И ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МОЛОКА ОТ СТЕПЕНИ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ КОРОВ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ

**Колесник Н.С.** – мл. науч. сотр., лаборатории фундаментальных основ питания сельскохозяйственных животных и рыб (ORCID 0000-0002-4267-5300); **Зайцев С.Ю.\*** – д-р биол. наук, д-р хим. наук, рук. группы аналитической биохимии (ORCID 0000-0003-1533-8680); **Воронина О.А.** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. группы аналитической биохимии (ORCID 0000-0002-6774-4288); **Савина А.А.** – науч. сотр., группы аналитической биохимии (ORCID 0000-0003-0257-1643)

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

\* s.y.zaitsev@mail.ru

**Ключевые слова:** качество молока, аминокислоты, коровы голштинской породы, продуктивность.

**Key words:** milk quality, amino acids, Holstein cows, productivity.

**Финансирование:** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках выполнения государственного задания (регистрационный номер ЕГИСУ темы НИИ FGGN-2024-0016).

Поступила: 03.08.2025

Принята к публикации: 05.12.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025



### РЕФЕРАТ

Коровье молоко, как базовый продукт питания, занимает ведущее место в молочном скотоводстве. Его высокая пищевая ценность определяется сложным химическим составом. Это относится, прежде всего, к жирам, белкам, углеводам, микроэлементам и другим компонентам молока. В своей работе мы уделили внимание вопросу аминокислотного состава белков молока, поскольку он имеет важнейшее значение для физиологии потребителя. В метаболических процессах на уровне клеточного метаболизма именно аминокислоты выступают в качестве основных субстратов, участвующих в процессах: регуляции биосинтеза белка, энергетического обмена клетки и других. Цель работы – выявить взаимосвязь между рядом биохимических показателей молока и аминокислотным профилем в зависимости от уровня молочной продуктивности коров голштинской породы. Исследования проводились в лабораториях ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, материал для исследования был получен на племязаводе «Ладожское». Методы, использованные в работе: амперометрическое детектирование, ионообменная хроматография с постколоночной дериватизацией, Фурье-анализ в инфракрасном диапазоне. Оборудование для анализа: «ЦветЯуза-01-АА» («Химвтоматика», Россия), LC-20 Prominence (Shimadzu, Япония) с реакционным модулем для постколоночной дериватизации ARM-1000 (Sevko&Co, Россия), «Combi Foss 7» (Дания). Выделены три группы коров с увеличивающейся молочной продуктив-

ностью: 1) 15-25 л, 2) 26-35 л, 3) 36-45 л в сутки. В результате работы установлено, что увеличение соотношения незаменимых и синтезируемых аминокислот от группы 1 к группе 3 свидетельствует о пропорциональном увеличении ценности белка в молоке высокопродуктивных коров. Результаты корреляционного анализа показывают устойчивые, и что важно, однонаправленные корреляционные связи между аминокислотами и биохимическими показателями молока коров всех трех групп.

#### ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Коровье молоко является доминирующим продуктом в мировом молочном производстве и наиболее широко потребляемым видом молока, чья высокая питательная ценность определяется сложным химическим составом [1]. Молоко классифицируется как полидисперсная система, содержащая разнообразные компоненты, включая липиды, белки, углеводы и минералы. Среди этих компонентов особое значение имеют белки, представленные казеинами и сывороточными белками (альбуминами и глобулинами), которые служат основным источником аминокислот. Аминокислоты играют критически важную роль в физиологических процессах организма, выступая в качестве субстратов и регуляторов биосинтеза белка, участвуя в энергетическом метаболизме, являясь предшественниками физиологически активных аминов, нуклеиновых кислот, липидов и гормонов [2]. Согласно литературным данным, содержание белков в 100 г коровьего молока составляет 3,1–4,0 г белков, из них от 75 до 87% приходится на казеин, 10–12% – на альбумин и 3–6% – на глобулин, а их общий аминокислотный состав во многом зависит от породных особенностей, условий содержания, сезона, периода лактации и режима кормления [3,4].

Основываясь на процессах биосинтеза белка или азотном балансе, аминокислоты обычно классифицируются как «незаменимые» или «заменимые» для животных и людей [5]. Однако литература последних лет свидетельствует о том, что некоторые из заменимых АК играют важную роль в множественных сигнальных путях, регулируя тем самым экспрессию генов, внутриклеточный обмен белков, метаболизм питательных веществ и окислительную защиту [6,7]. Так, глута-

миновая кислота является единственной кислотой, поддерживающей дыхание клеток мозга [8]. В связи с этим была разработана концепция функциональных аминокислот, включающая как заменимые, так и незаменимые АК: аргинин, цистеин, глутамин, лейцин, пролин и триптофан. Дефицит функциональных АК нарушает не только синтез белка, но и гомеостаз всего организма.

Молочные белки содержат в своем составе все необходимые для человека аминокислоты, а по сбалансированности своих аминокислот позволяют значительно улучшать общую сбалансированность аминокислот белков всего пищевого рациона [9].

Доля белка наряду с долей жира, кислотностью, числом соматических клеток является важным показателем качества молока. В связи с этим фундаментальный интерес представляет взаимное влияние составных компонентов молока друг на друга и на конечный биохимический профиль молока [10,11], который и определяет, в конечном счете, качество продукта. К примеру, присутствие в молочном жире полиненасыщенных жирных кислот приводит к быстрому окислению их кислородом воздуха [12]. Первичные продукты перекисного окисления жирных кислот быстро превращаются в различные вторичные продукты окисления, в том числе, пероксиды, альдегиды, кетоны, оксикислоты, которые не только изменяют вкус, запах и цвет молока, но и, некоторые из них являются токсичными веществами [13]. Многофакторная система антиоксидантной защиты, включающая в себя жир- и водорастворимые витамины, флавоноиды, белки, пептиды, а также ферментативный комплекс антиоксидантных ферментов [14] в некоторой степени компенсирует и нейтрализует вторичные ме-

таболиты перекисного окисления жирных кислот молока, однако естественным образом это сказывается на качестве молока.

Таким образом, целью работы является выявление связи между рядом биохимических показателей молока и аминокислотным профилем в зависимости от уровня молочной продуктивности коров голштинской породы.

#### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS**

Исследования были проведены с образцами от племенного хозяйства «Ладожское» и в лабораториях ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. Протокол исследования на животных был одобрен биоэтической комиссией ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста (протокол № 2, от 20 марта 2023 года). Были получены и исследованы основные биохимические показатели и общий аминокислотный состав молока от 74 голов коров голштинской породы в племенном заводе Ладожский. Для всех групп исследовали коров 1-2 лактации (вторая фаза лактации). В первую группу вошли животные со средним суточным удоем 15-25 литров, во вторую - 26-35 литров в сутки и в третью с удоем - 36-45 литров в сутки. В первую группу вошло 28% (n=21) исследуемого поголовья, во вторую 41% (n=30) и в третью 31% (n=23).

Кормление коров осуществлялось согласно общепринятым нормам и по утвержденному в хозяйстве рациону из расчета на голову: концентрированных кормов 12,0 кг, сенаж 14,0 кг, силос 8,0 кг, сено 3,0 кг. От начала лактации и к её завершению в структуре рациона менялась пропорция и соотношение («%» от питательности), что приходится на долю каждого вида кормов. Таким образом, доля концентратов постепенно снижалась с 45% в начале до 24% к концу лактации, вместе с параллельным повышением доли силоса, сенажа и сена в рационе.

Суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов (СКВА) – амперометрический метод с помощью прибора «ЦветЯуза-01-АА» с амперометрическим

детектором («Химавтоматика», Россия) методика работы подробно описана в наших предыдущих публикациях [15]. Аминокислотный профиль молока изучали методом ионообменной хроматографии с постколоночной дериватизацией проб нингидрином с помощью системы высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) LC-20 Prominence (Shimadzu, Япония), оснащенной реакционным модулем для пост-колоночной дериватизации нингидрином АРМ-1000 (Sevko&Co, Россия) и колонкой с ионообменной смолой (Sevko&Co, Россия). Подготовка проб для анализа осуществлялась в соответствии с ГОСТ 32195-2013. Гидролиз выполняли в фторопластовых стаканах с завинчивающейся крышкой (СЕМ, США), в термостате при 110 °С в течение 24 часов. В условиях кислого гидролиза полностью разрушаются аминокислоты триптофан (Trp), метионин (Met) и цистеин (Cys). Asn и Gln являются амидами аспартата и глутамата и в условиях гидролиза переходят в соответствующие кислоты и на хроматограмме определяются вместе с Asp и Glu.

Во время контрольной дойки отбирали среднюю пробу молока согласно ГОСТ 26809.1-2014, проводили учет суточного удоя. Анализ проб молока выполнен в лабораториях ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. Компонентный состав молока определяли на приборе «Combi Foss 7» (Дания); изучаемые показатели: массовая доля жира (МДЖ), массовая доля белка истинного (МДБи), массовая доля белка общего (МДБо), лактоза, сухой обезжиренный молочный остаток (СОМО), сухое вещество (СВ), температура замерзания (ТЗ), рН – показатель кислотности.

Все полученные в опыте результаты обработаны биометрически с вычислением следующих величин: среднеарифметическая ошибка ( $M \pm m$ ), среднеквадратическая ошибка (MES) и уровень значимости (p). Результаты исследований считали: высокодостоверными при  $p < 0,001$  и достоверными при  $p < 0,01$  и  $p < 0,05$ ; при  $0,05 < p < 0,1$  – тенденция к достоверности

полученных данных; при  $p > 0,1$  разница не достоверна.

Количественная оценка взаимосвязи между изучаемыми параметрами выполнена при помощи корреляционного анализа. Оценка по силе связи (величине коэффициента корреляции):  $r < 0,25$  – слабая связь;  $0,25 < r < 0,50$  – умеренная связь;  $0,50 < r < 0,75$  – сильная связь;  $r > 0,75$  – очень сильная связь.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Результаты выполненных работ и итоговые данные, полученные в результате анализа представлены в таблицах 1 и 2.

Наименьшее количество аминокислот, как заменимых, так и незаменимых, наблюдается в молоке коров второй группы с удоем 26-35 л. Так, содержание Val было ниже на 13%, Phe – на 16,7%, Lys – на 13,3%, Tug – на 17,7%, Ile – на 15,8% относительно третьей группы. Аналогично, в первой группе было больше Asp на 11,5%, Ser на 10,5%, Glu на 11,9%, Ala, на 14,3%, Leu на 11,8%, Lys на 10,3% и Pro на 16% по сравнению со второй группой.

Общий аминокислотный профиль молока достаточно стабилен, что подтверждается низкими и умеренными коэффициентами вариации для большинства аминокислот ( $C_V < 20\%$ ). Наибольший разброс данных характерен для пролина и аргинина ( $C_V > 20\%$ ). Как известно, аргинин является формально незаменимой аминокислотой. Поэтому для взрослого организма она может быть использована для синтеза белка в случае её недостатка в кормах рациона. Степень её «незаменимости» тесно связана как с рационом, так и с возрастом, поскольку уровень синтеза аргинина в организме увеличивается по мере взросления. Несмотря на то, что пролин является заменимой аминокислотой и содержится во всех белках организма, его количество обладает высокой степенью изменчивости. Вероятно, это связано с особенностью его химической структуры. В составе белков атом азота в молекуле пролина не связан с атомом водорода, таким образом, пептидная группировка X-Pro не может быть донором водорода при форми-

ровании водородной связи. Обладая конформационно жёсткой структурой, пролин сильно изгибает пептидную цепь. Пролин является «поворотной» аминокислотой и активно участвует в формировании вторичной структуры белка. Таким образом, его содержание сильно зависит от количества, соотношения и конформации белков, с чем и связана высокая вариабельность данного показателя. Разброс данных по содержанию остальных аминокислот обусловлен, в основном, колебаниями в соотношении белковых фракций молока, а также наличием некоторого количества аминокислот в свободной форме.

Стоит отметить линейное увеличение соотношения суммы незаменимых аминокислот к заменимым в молоке с увеличением среднесуточного удоя. Так, в первой группе этот показатель составил  $0,90 \pm 0,013$ , во второй –  $0,93 \pm 0,011$ , в третьей –  $0,96 \pm 0,008$ , что говорит о большей полноценности белка у высокопродуктивных животных. Так, в первой группе относительно третьей было больше заменимых аминокислот – аспарагиновой кислоты и пролина, но меньше незаменимых – валина, изолейцина, лейцина, фенилаланина, лизина, а также условно заменимых гистидина и аргинина.

Антиоксидантная активность молока также была чуть выше у животных группы 3. В свою очередь, количество жира линейно снижалось с увеличением удоев (4,09% – группа 1, 3,40% – группа 2, 2,82% – группа 3). Данные по количеству белка в молоке подопытных животных полностью соотносятся с общим аминокислотным составом. Остальные биохимические показатели во всех группах отличались незначительно.

Далее нами была проведена процедура попарных сравнений групп животных по изучаемым показателям и поиск взаимосвязей между ними (таблица 2).

Таблица 1 – Аминокислотные и биохимические показатели молока коров голштинской породы в зависимости от молочной продуктивности

Показатель	группа 1 (n=21)		группа 2 (n=30)		группа 3 (n=23)	
	М	С <sub>v</sub> , %	М	С <sub>v</sub> , %	М	С <sub>v</sub> , %
<i>ASP</i>	0,26±0,01	18,27	0,23±0,009	22,01	0,25±0,007	13,81
<i>THR</i>	0,12±0,006	20,72	0,11±0,004	21,11	0,12±0,003	12,83
<i>SER</i>	0,19±0,008	18,94	0,17±0,007	21,05	0,19±0,005	13,53
<i>GLU</i>	0,67±0,028	18,82	0,59±0,023	21,23	0,67±0,018	13,11
<i>GLY</i>	0,05±0,002	18,82	0,04±0,002	22,43	0,05±0,001	13,37
<i>ALA</i>	0,14±0,005	16,73	0,12±0,005	20,89	0,14±0,004	12,57
<i>VAL</i>	0,22±0,008	16,79	0,20±0,008	21,45	0,23±0,006	12,66
<i>ILE</i>	0,18±0,007	16,76	0,16±0,007	21,71	0,19±0,004	11,09
<i>LEU</i>	0,34±0,013	17,34	0,30±0,012	21,60	0,35±0,008	11,54
<i>TYR</i>	0,16±0,006	16,50	0,14±0,005	19,90	0,17±0,004	10,78
<i>PHE</i>	0,17±0,006	16,61	0,15±0,006	22,64	0,18±0,004	10,78
<i>HIS</i>	0,09±0,003	15,08	0,08±0,003	18,67	0,10±0,003	12,51
<i>LYS</i>	0,29±0,01	15,98	0,26±0,01	20,61	0,30±0,008	12,27
<i>ARG</i>	0,12±0,005	18,02	0,13±0,011	49,04	0,14±0,004	13,43
<i>PRO</i>	0,25±0,018	32,06	0,21±0,011	28,43	0,22±0,006	12,13
<i>НЗ АК/З АК</i>	0,90±0,013	6,61	0,93±0,011	6,32	0,96±0,008	4,01
<i>СКВА, мг/л</i>	14,09±0,843	27,41	14,54±0,596	22,47	15,01±0,688	21,99
<i>МДЖ</i>	4,09±0,174	19,51	3,40±0,121	19,55	2,82±0,097	16,49
<i>МДБи</i>	3,28±0,098	13,73	2,95±0,079	14,77	3,21±0,056	8,40
<i>МДБо</i>	3,42±0,088	11,76	3,12±0,072	12,73	3,36±0,051	7,34
<i>Лактоза</i>	4,88±0,042	3,93	4,88±0,049	5,52	5,03±0,032	3,01
<i>СОМО</i>	9,14±0,111	5,54	8,77±0,109	6,79	9,20±0,078	4,05
<i>СВ</i>	13,01±0,226	7,95	12,01±0,19	8,67	11,91±0,133	5,35
<i>ТЗ</i>	533,71±2,152	1,85	526,17±3,663	3,81	534,30±1,495	1,34
<i>pH</i>	6,58±0,015	1,02	6,55±0,013	1,07	6,57±0,011	0,83

Примечание: *ASP* – аспарагиновая кислота, *THR* – треонин, *SER* – серин, *GLU* – глутаминовая кислота, *GLY* – глицин, *ALA* – аланин, *VAL* – валин, *ILE* – изолейцин, *LEU* – лейцин, *TYR* – тирозин, *PHE* – фенилаланин, *HIS* – гистидин, *LYS* – лизин, *ARG* – аргинин, *PRO* – пролин, *Н АК/З АК* – соотношение незаменимых аминокислот к заменимым, *СКВА* – суммарное количество водорастворимых антиоксидантов, *МДЖ* – массовая доля жира, *МДБ* – массовая доля белка, *СОМО* – сухой обезжиренный молочный остаток, *СВ* – сухое вещество, *ТЗ* – точка замерзания, *pH* – кислотность.

Установлены следующие достоверные различия между группами с различной продуктивностью. Для группы с удо- ем в 15-25л/сут по сравнению с группой 26-35 л/сут по следующим показателям: Asp, Thr, Glu, Gly, Ala, Val, Ile, массовая доля жира, массовая доля белка (общий и истинный), сухое вещество. Для всех перечисленных достоверных изменений первая группа превосходит вторую. Статистически значимая разница по содержа-

нию как заменимых, так и незаменимых аминокислот обусловлена выраженным снижением массовой доли белка в молоке. Однако соотношение суммы незаменимых аминокислот к заменимым во второй группе ближе к эквимолярному отношению первой, что говорит о более высокой биологической ценности белка.

Таблица 2 – Достоверность, абсолютная и относительная разница между группами по удою

Группы	1 и 2	1 и 3	2 и 3	1 и 2	1 и 3	2 и 3	1 и 2	1 и 3	2 и 3
Разница	Абсолютная разница			Относительная разница, %			p-достоверность		
<i>ASP</i>	<b>0,03</b>	0,01	0,02	<b>11,54</b>	3,85	8,00	<b>0,03</b>	0,50	0,08
<i>THR</i>	<b>0,01</b>	0,00	<b>0,01</b>	8,33	0,00	<b>8,33</b>	<b>0,02</b>	0,86	<b>0,00</b>
<i>SER</i>	0,02	0,00	0,02	10,53	0,00	10,53	0,07	0,87	0,06
<i>GLU</i>	<b>0,08</b>	0,00	<b>0,08</b>	<b>11,94</b>	0,00	<b>11,94</b>	<b>0,03</b>	0,99	<b>0,02</b>
<i>GLY</i>	<b>0,01</b>	0,00	<b>0,01</b>	<b>20,00</b>	0,00	<b>20,00</b>	<b>0,01</b>	0,57	<b>0,02</b>
<i>ALA</i>	<b>0,02</b>	0,00	<b>0,02</b>	<b>14,29</b>	0,00	<b>14,29</b>	<b>0,03</b>	0,48	<b>0,00</b>
<i>VAL</i>	<b>0,02</b>	0,01	<b>0,03</b>	<b>9,09</b>	4,55	<b>13,04</b>	<b>0,05</b>	0,47	<b>0,01</b>
<i>ILE</i>	<b>0,02</b>	0,01	<b>0,03</b>	<b>11,11</b>	5,56	<b>15,79</b>	<b>0,04</b>	0,37	<b>0,00</b>
<i>LEU</i>	0,04	0,01	<b>0,05</b>	11,76	2,94	<b>14,29</b>	0,07	0,38	<b>0,01</b>
<i>TYR</i>	0,02	0,01	<b>0,03</b>	12,50	6,25	<b>17,65</b>	0,06	0,12	<b>0,00</b>
<i>PHE</i>	0,02	0,01	<b>0,03</b>	11,76	5,88	<b>16,67</b>	0,09	0,08	<b>0,00</b>
<i>HIS</i>	0,01	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	11,11	<b>11,11</b>	<b>20,00</b>	0,65	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
<i>LYS</i>	0,03	0,01	<b>0,04</b>	10,34	3,45	<b>13,33</b>	0,16	0,12	<b>0,00</b>
<i>ARG</i>	0,01	<b>0,02</b>	0,01	8,33	<b>16,67</b>	7,14	0,68	<b>0,02</b>	0,54
<i>PRO</i>	0,04	0,03	0,01	16,00	12,00	4,55	0,06	0,18	0,34
<i>НЗ АК/З АК</i>	0,03	<b>0,06</b>	<b>0,03</b>	3,33	<b>6,67</b>	<b>3,12</b>	0,08	<b>0,00</b>	<b>0,05</b>
<i>СКВА, мг/л</i>	0,45	0,92	0,47	3,19	6,53	3,13	0,66	0,51	0,77
<i>МДЖ</i>	<b>0,69</b>	<b>1,27</b>	<b>0,58</b>	<b>16,87</b>	<b>31,05</b>	<b>20,57</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<i>МДБн</i>	<b>0,33</b>	0,07	<b>0,26</b>	<b>10,06</b>	2,13	<b>8,10</b>	<b>0,01</b>	0,58	<b>0,01</b>
<i>МДБо</i>	<b>0,30</b>	0,06	<b>0,24</b>	<b>8,77</b>	1,75	<b>7,14</b>	<b>0,01</b>	0,60	<b>0,01</b>
<i>Лактоза</i>	0,00	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	0,00	<b>3,07</b>	<b>2,98</b>	0,98	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>
<i>СОМО</i>	<b>0,37</b>	0,06	<b>0,43</b>	<b>4,05</b>	0,66	<b>4,67</b>	<b>0,03</b>	0,57	<b>0,00</b>
<i>СВ</i>	<b>1,00</b>	<b>1,10</b>	0,10	<b>7,69</b>	<b>8,46</b>	0,84	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,74
<i>ТЗ</i>	7,54	0,59	8,13	1,41	0,11	1,52	0,12	0,82	0,08
<i>pH</i>	0,03	0,01	0,02	0,46	0,15	0,30	0,14	0,42	0,42

Примечание: *ASP* – аспарагиновая кислота, *THR* – треонин, *SER* – серин, *GLU* – глутаминовая кислота, *GLY* – глицин, *ALA* – аланин, *VAL* – валин, *ILE* – изолейцин, *LEU* – лейцин, *TYR* – тирозин, *PHE* – фенилаланин, *HIS* – гистидин, *LYS* – лизин, *ARG* – аргинин, *PRO* – пролин, *Н АК/З АК* – соотношение незаменимых аминокислот к заменимым, *СКВА* – суммарное количество водорастворимых антиоксидантов, *МДЖ* – массовая доля жира, *МДБ* – массовая доля белка, *СОМО* – сухой обезжиренный молочный остаток, *СВ* – сухое вещество, *ТЗ* – точка замерзания, *pH* – кислотность.

В меньшей степени достоверные различия выражены для первой группы относительно третьей (с удоем 36-45 л/сут). По показателям аминокислот в третьей группе достоверно больше His 11,1% (0,01, p=0,01) и Arg 16,7% (0,02, p=0,02), достоверных различий в содержании белка не установлено, наблюдается большее содержание лактозы на 3,1% (0,15%, p=0,01) и меньшая массовая доля жира 31,1% (1,27%, p=0,001), сухого вещества так же

достоверно меньше в третьей группе 8,5% (1,10%, p=0,001).

Больше всего достоверных различий (p<0,05) установлено для группы 2 (удой 26-35 л/сут) и 3 (удой 36-45 л/сут). Установлены достоверные различия для одиннадцати аминокислот: Thr, Glu, Gly, Ala, Val, Ile, Leu, Tyr, Phe, His, Lys – их большее количество отмечено в третьей группе. Как было сказано выше, аминокислотный профиль молока напрямую связан с количеством белка и соотношением бел-

ковых фракций. Выраженное увеличение массовой доли белка в третьей группе закономерно отразилось и в увеличении содержания ряда аминокислот. Более того, согласно полученным результатам, соотношение незаменимых аминокислот к заменимым в этой группе наиболее приближено к единице, что говорит о высоком качестве молока высокоудойных коров.

Массовая доля жира линейно и достоверно снижалась по мере увеличения удоя. Количество белка также снижалось, с минимумом во второй группе. Как известно, массовая доля жира и белка с увеличением удоев обычно снижается, что связывают с истощением энергетических ресурсов организма животного. Однако наши исследования показывают, что связь между уровнем удоя и массовых долей жира и белка не имеет четкой закономерности, что соотносится с данными других исследователей [16].

Колебания значений антиоксидантной активности при их интегральной оценке по показателю суммарного количества водорастворимых антиоксидантов (СКВА) отличаются в группах на 3,13-6,53%. При этом есть динамика к увеличению показателя СКВА с увеличением удоя.

Для всех изучаемых групп наблюдаются устойчивые положительные взаимосвязи между массовой долей белка и всеми аминокислотами, что, безусловно, является положительным и достоверным результатом в силу роли последних в синтезе белковых молекул. Наибольшие коэффициенты корреляции по данному показателю наблюдаются во 2 группе (от 0,59 до 0,77). В 1 группе диапазон составил от 0,52 до 0,67, а в 3 – от 0,32 до 0,54.

Для первой и второй групп также наблюдаются положительные взаимосвязи между аминокислотным составом и сухим веществом, а также сухим молочным остатком. По данным показателям  $r$  находится в пределах от 0,37 до 0,68, однако для третьей группы по данным показателям четкой взаимосвязи не обнаружено.

Для лактозы в 3 группе наблюдаются устойчивые отрицательные корреляции с большинством аминокислот ( $r$  от -0,40 до -0,50). Во второй группе для лактозы все корреляции были близки к нулю, а в 1 группе были слабо отрицательными.

Несомненно, аминокислоты обладают антиоксидантной активностью, однако в изучаемых группах мы обнаружили значимые корреляции со СКВА только для Asp (0,41), Glu (0,40) и Pro (0,53) в 1 группе и для Pro (0,49) во 2 группе. Все остальные корреляции хоть и были положительными, но их сила не велика.

Нами также обнаружены интересные данные по корреляции суточного удоя с аминокислотами. В первой группе наблюдаются умеренные и сильные отрицательные взаимосвязи (от -0,32 до -0,62), во второй и третьей группах корреляции слабые и отрицательные.

#### **ВЫВОДЫ / CONCLUSION**

Увеличение отношения незаменимых к заменимым аминокислотам (НАК/ЗАК) от группы 1 к группе 3, т.е. приближение его к эквимолярному отношению (1,0) для высокопродуктивных животных (группа 3), свидетельствует о пропорциональном повышении ценности белка в таком молоке.

Общий аминокислотный профиль молока достаточно стабилен, разброс данных для большинства аминокислот не превышает 20%.

Высокие колебания по содержанию пролина обусловлены особенностями его химической структуры и ролью в формировании вторичной структуры белка за счёт изгибания пептидной цепи.

Нами не было обнаружено четкой зависимости между уровнем удоя и основными биохимическими показателями молока.

Обнаружены устойчивые, а что самое главное – однонаправленные корреляции между аминокислотными и биохимическими показателями молока коров во всех изучаемых группах.

**DEPENDENCE OF AMINO ACID COMPOSITION AND MILK QUALITY INDICATORS ON MILK PRODUCTIVITY IN HOLSTEIN COWS**

**Kolesnik N. S.** – Junior Researcher in the Laboratory of Fundamental Principles of Nutrition of Farm Animals and Fish (ORCID 0000-0002-4267-5300); **Zaitsev S. Yu.\*** – Doctor of Biological Sciences, Doctor of Chemical Sciences, Head of the Analytical Biochemistry Groups (ORCID 0000-0003-1533-8680); **Voronina O. A.** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Analytical Biochemistry Group (ORCID 0000-0002-6774-4288); **Savina A. A.** – Researcher in the Analytical Biochemistry Group (ORCID 0000-0003-0257-1643).

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

\* s.y.zaitsev@mail.ru

**Financing:** *The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state assignment (EGISU registration number of the research topic FGGN-2024-0016).*

**ABSTRACT**

Cow's milk, as a bulk nutritional product, occupies a leading position in the dairy cattle industry. Its high nutritional value is determined by its complex chemical composition. This applies primarily to fats, proteins, carbohydrates, trace elements and other components in milk. In our work, we paid attention to the issue of the amino acid composition of milk proteins, since this is critically important for the physiology of the consumer. Since, in the metabolic processes at the level of cellular metabolism. It is amino acids that act as the major substrates that are involved in the processes of: regulation of protein biosynthesis, energy metabolism of the cell, etc. The purpose of the work is to identify the relationship between a number of biochemical indicators of milk and the amino acid profile depending on the level of milk productivity of Holstein cows. The studies were carried out in the laboratories of

the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, the material for the study was obtained at the "Ladozhskoye" breeding farm. The methods used in the work: amperometric detection, ion-exchange chromatography with post-column derivatization, Fourier transform analysis in the infrared range. Equipment for analysis: "TsvetYauza-01-AA" ("Khimavtomatika", Russia), LC-20 Prominence (Shimadzu, Japan) with a reaction module for post-column derivatization ARM-1000 (Sevko&Co, Russia), "Combi Foss 7" (Denmark). There are three cow groups with increasing milk yield: 1) 15-25 L, 2) 26-35 L, 3) 36-45 L per day. As a result of the work, it was established that the increase in the ratio of essential to synthesizable amino acids from group 1 to group 3 indicates a proportional increase in the value of protein in the milk of high-yielding cows. The results of the correlation analysis show stable, and what is important, unidirectional correlations between amino acids and biochemical parameters of cows' milk for all three groups.

**СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Claeys W. L. et al. Consumption of raw or heated milk from different species: An evaluation of the nutritional and potential health benefits. *Food control*. 2014;42: 188-201. DOI: 10.1016/j.foodcont.2014.01.045.
2. Liu Y., Cai J., Zhang F. Functional comparison of breast milk, cow milk and goat milk based on changes in the intestinal flora of mice. *LWT*. 2021;150:111976. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111976.
3. Рудаков О. Б., Рудакова Л. В. Аминокислотный анализ белков молока. *Переработка молока*. 2019;12:242. DOI: 10.33465.2222-5455-2019-12-32-35.
4. Вельматов А.П. и др. Аминокислотный состав молока коров – дочерей голштинских быков голландской селекции. *Аграрная наука Северо-Востока*. 2011;25(6):С. 36–38.
5. Volnin A.A., Sheraliev F.D., Shaposhnikov M.N., Zaitsev S.Y., Bagirov V.A., Zinovieva N.A. Amino acid score of milk proteins of the interspecific hybrids of argali and domestic sheeps. *RJOAS*. 2017;4:240-

247. DOI: 10.18551/rjoas.2017-04.31.

6. Bruhat A. et al. Amino acids as regulators of gene expression in mammals: Molecular mechanisms. *Biofactors*. 2009;35:249-257. DOI: 10.1002/biof.40.

7. Brasse-Lagnel C., Lavoigne A., Husson A. Control of mammalian gene expression by amino acids, especially glutamine. *FEBS J*. 2009;44:276-1826. DOI: 10.1111/j.1742-4658.2009.06920.x

8. Лысыков Ю. А. Аминокислоты в питании человека. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2012;2:88-105.

9. Мажитова А., Кулмырзаев А. Определение аминокислотного состава коровьего молока методом жидкостной хроматографии с применением предколоночной дериватизации. *Журнал технических наук Манас*. 2017;5(3):25-34.

10. Каширина Л.Г. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная защита организма у молочных коров разной продуктивности. *Вестник РГАТУ им. П.А. Костычева*. 2013;1:8-12.

11. Fox P.F. et al. Heat-induced changes in milk. *Dairy Chemistry and Biochemistry*. 2015:345-375. DOI: 10.1007/978-3-319-14892-2\_9.

12. Vashchenko G., MacGillivray R.T.A. Multi-copper oxidases and human iron metabolism. *Nutrients*. 2013;5(7):2289-2313. DOI: 10.3390/nu5072289.

13. Добрян Е.И. Антиоксидантная система молока. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2020;82(2):101-106. DOI: 10.26907/2311-1222.2020.2.101-106.

14. Балакирева Ю.В. и др. Изучение антиоксидантной емкости коровьего и козьего молока. *Вестник Казанского технологического университета*. 2009;1:56-59.

15. Савина А. А. и др. Амперометрическое детектирование антиоксидантной активности модельных и биологических жидкостей. *Вестник Московского университета. Серия 2. Химия*. 2020;61(6):429-437.

16. Лефлер Т. Ф., Лесун А. А. Массовая доля белка и жира в молоке коров в зависимости от их удоя. *Вестник Краснояр-*

ского государственного аграрного университета. 2011;(8):175-179.

## REFERENCES

1. Claeys W. L. et al. Consumption of raw or heated milk from different species: An evaluation of the nutritional and potential health benefits. *Food control*. 2014;42: 188-201. DOI: 10.1016/j.foodcont.2014.01.045.

2. Liu Y., Cai J., Zhang F. Functional comparison of breast milk, cow milk and goat milk based on changes in the intestinal flora of mice. *LWT*. 2021;150:111976. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111976.

3. Rudakov O. B., Rudakova L. V. Amino acid analysis of milk proteins. *Milk processing*. 2019;12:242. DOI: 10.33465/2222-5455-2019-12-32-35. (In Russ.).

4. Velmatov A.P. et al. The amino acid composition of milk from cows – daughters of Holstein bulls of Dutch breeding. *Agricultural science of the Euro-Northeast*. 2011;25 (6): 36-38. (In Russ.).

5. Volnin A.A., Sheraliev F.D., Shaposhnikov M.N., Zaitsev S.Y., Bagirov V.A., Zinovieva N.A. Amino acid score of milk proteins of the interspecific hybrids of argali and domestic sheeps. *RJOAS*. 2017;4:240-247. DOI: 10.18551/rjoas.2017-04.31.

6. Bruhat A. et al. Amino acids as regulators of gene expression in mammals: Molecular mechanisms. *Biofactors*. 2009;35:249-257. DOI: 10.1002/biof.40.

7. Brasse-Lagnel C., Lavoigne A., Husson A. Control of mammalian gene expression by amino acids, especially glutamine. *FEBS J*. 2009;44:276-1826. DOI: 10.1111/j.1742-4658.2009.06920.x

8. Lysikov Yu. A. Amino acids in human nutrition. *Experimental and clinical gastroenterology*. 2012;2:88-105. (In Russ.).

9. Mazhitova A, Kulmyrzaev A, Determination of the amino acid composition of cow's milk by liquid chromatography using precolumn derivatization. *Journal of technical sciences Manas*. 2017;5:25-34. (In Russ.).

10. Kashirina L.G. Lipid peroxidation and antioxidant body protection in dairy cows of different productivity. *Bulletin of the P.A. Kostychev Russian State Technical University*. 2013;1:8-12. (In Russ.).

11. Fox P.F. et al. Heat-induced changes in milk. *Dairy Chemistry and Biochemistry*. 2015;345-375. DOI: 10.1007/978-3-319-14892-2\_9.
12. Vashchenko G., MacGillivray R.T.A. Multi-copper oxidases and human iron metabolism. *Nutrients*. 2013;5(7):2289-2313. DOI: 10.3390/nu5072289.
13. Dobriyan E.I. The antioxidant system of milk. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2020;82(2):101-106. DOI: 10.26907/2310-1202.2020.2.101-106. (In Russ.).
14. Balakireva Yu.V. et al. The study of the antioxidant capacity of cow's and goat's milk. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2009;(1):56-59. (In Russ.).
15. Savina A. A., Voronina O. A., Bogolyubova N. V., Zaytsev S. Yu. Amperometric detection of antioxidant activity of model and biological fluids. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 2: Khimiya*. 2020;61(6):429-437. (In Russ.).
16. Lefler T. F., Lesun A. A. Mass fraction of protein and fat in cows' milk depending on their milk yield. *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2011; (8): 175-179. (In Russ.).