

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 8-20.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No. 1. P. 8-20.

ФИЗИОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Научная статья

УДК 536.085:577.17

doi:10.33284/2658-3135-108-1-8

**Особенности рубцового пищеварения *in situ* при введении в рацион бычков
казахской белоголовой породы ультрадисперсных частиц диоксида кремния
и серосодержащих соединений органической и неорганической природы**

Елена Анатольевна Сизова¹, Айна Маратовна Камирова², Елена Владимировна Яушева³,
Даниил Евгеньевич Шошин⁴, Марина Юрьевна Павлова⁵

^{1,2,3,4,5}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹sizova.l78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

²ayna.makaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8223>

³vasilena56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1589-2211>

⁴daniilshoshin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3086-681X>

⁵marqo5677@mail.ru

Аннотация. В последние несколько лет наблюдается растущий интерес к использованию натуральных кормовых добавок в кормах для животных. В частности, показаны перспективы использования ультрадисперсных частиц в качестве замены антибиотиков для изменения ферментации в рубце и повышения эффективности кормления жвачных животных. Целью нашего исследования являлась оценка серосодержащего органоминерального комплекса на основе аминокислот и Na_2SO_4 на эффективность рубцового пищеварения методом *in situ* в чистом виде и в сочетании с УДЧ SiO_2 . Исследование проведено на бычках казахской белоголовой породы с хронической фистулой. Были сформированы 3 группы для проведения исследования методом *in situ*: I – контроль; II – аминокислотный комплекс (триптофан, лизин, метионин)+ Na_2SO_4 ; III – аминокислотный комплекс (триптофан, лизин, метионин)+ Na_2SO_4 +УДЧ SiO_2 . В исследовании отмечалось увеличение коэффициента переваримости во II и III группах на 3,7 и 2,6 % по сравнению с контролем. Анализ летучих жирных кислот показал увеличение концентраций уксусной, пропионовой и масляной на 112, 77,7 и 76,8 % в I группе и на 44,3; 4,52 и 32,6 % – во II соответственно. Изменения в белковом обмене были связаны с увеличением белкового и небелкового азота в I группе в сравнении с контролем на 85,6 и 52,3 %. Исследование продемонстрировало благоприятное воздействие комбинированного применения изучаемых веществ на процессы рубцового пищеварения. Совместное использование ультрадисперсной формы диоксида кремния, аминокислотного комплекса и сульфата натрия оказалось эффективным в стимулировании рубцового пищеварения.

Ключевые слова: жвачные животные, кормление, рубцовое пищеварение, элементный состав, *in situ*

Благодарности: исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 20-16-0078-П.

Для цитирования: Особенности рубцового пищеварения *in situ* при введении в рацион бычков казахской белоголовой породы ультрадисперсных частиц диоксида кремния и серосодержащих соединений органической и неорганической природы / Е.А. Сизова, А.М. Камирова, Е.В. Яушева, Д.Е. Шошин, М.Ю. Павлова // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 8-20. [Sizova EA, Kamirova AM, Yausheva EV, Shoshin DE, Pavlova MYu. Peculiarities of ruminal digestion *in situ* when ultrafine particles of silicon dioxide and sulfur-containing compounds of organic and inorganic nature are introduced into the diet of the Kazakh white-headed bulls. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):8-20. (In Russ.]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-8>

PHYSIOLOGY OF ANIMALS

Original article

Peculiarities of ruminal digestion *in situ* when ultrafine particles of silicon dioxide and sulfur-containing compounds of organic and inorganic nature are introduced into the diet of the Kazakh white-headed bulls

Elena A Sizova¹, Ayna M Kamirova², Elena V Yausheva³, Daniil E Shoshin⁴, Marina Yu Pavlova⁵

^{1,2,3,4,5}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹sizova.178@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

²ayna.makaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8223>

³vasilena56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1589-2211>

⁴daniilshoshin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3086-681X>

⁵marqo5677@mail.ru

Abstract. In the last few years, there has been a growing interest in the use of natural feed additives in animal feed. In particular, the prospects of using ultrafine particles as a substitute for antibiotics to change fermentation in the rumen and increase the efficiency of feeding ruminants are shown. The purpose of our study was to evaluate a sulfur-containing organomineral complex based on amino acids and Na₂SO₄ for the effectiveness of rumen digestion by the *in situ* method in its pure form and in combination with UFP SiO₂. The study was conducted on Kazakh white-headed bull calves with chronic fistula. 3 groups were formed for *in situ* testing: I – control; II – amino acid complex (tryptophan, lysine, methionine) + Na₂SO₄; III – amino acid complex (tryptophan, lysine, methionine) + Na₂SO₄ + UFP SiO₂. The study showed an increase in the coefficient of digestibility in groups II and III by 3.7 and 2.6% compared with the control. The analysis of volatile fatty acids showed an increase in the concentrations of acetic, propionic, and butyric acids by 112, 77.7, and 76.8% in group I and by 44.3; 4.52% and 32.6% were in II, respectively. Changes in protein metabolism were associated with an increase in protein and non-protein nitrogen in group I compared with the control by 85.6% and 52.3%. The study demonstrated the beneficial effect of combined use of the studied substances on the processes of rumen digestion. The combined use of an ultrafine form of silicon dioxide, an amino acid complex, and sodium sulfate proved to be effective in stimulating rumen digestion.

Keywords: ruminants, feeding, ruminal digestion, elemental composition, *in situ*

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 20-16-0078-P.

For citation: Sizova EA, Kamirova AM, Yausheva EV, Shoshin DE, Pavlova MYu. Peculiarities of ruminal digestion *in situ* when ultrafine particles of silicon dioxide and sulfur-containing compounds of organic and inorganic nature are introduced into the diet of the Kazakh white-headed bulls. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):8-20. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-8>

Введение.

Крупный рогатый скот и иные жвачные играют ключевую роль в удовлетворении растущих потребностей населения в мясных и молочных продуктах (Malmuthuge N and Guan LL, 2017). При этом сложно организованная микробиота, обитающая в рубце, отвечает за способность этих животных перерабатывать трудно перевариваемую растительную массу (Jami E and Mizrahi I, 2012; Soltis MP et al., 2023), обеспечивая до 70 % энергетических затрат организма за счет микробного белка и летучих жирных кислот (Abbas W et al., 2020; Li Z et al., 2022). Следовательно, микробиота рубца является потенциальной мишенью для манипуляций с целью повышения продуктивности и здоровья жвачных животных (Li F et al., 2019). В связи с этим в последние несколько лет растет интерес к использованию натуральных кормовых добавок, таких как пробиотики, органические кислоты, экзогенные ферменты, экстракты и вторичные метаболиты растений в качестве модуля-

торов рубцовой ферментации (Stivari TSS et al., 2014, Clemmons BA et al., 2019). Многие из них обеспечивают реорганизацию микробиальной экосистемы в рубце или толстом кишечнике, активируют энзиматические функции и улучшают усвояемость корма (Gheller LS et al., 2020; Oliveira LN et al., 2023; Meenongyai W et al., 2023; Varela AMG et al., 2023).

В частности, хорошо зарекомендовали себя нано- и ультрадисперсные частицы различной природы, зачастую выступающие в качестве аналогов антибиотиков и стимуляторов роста (Bunglavan SJ et al., 2014). Основными преимуществами такой формы являются большое отношение площади поверхности к объему и, как следствие, высокая биоактивность, уникальные возможности модификации путем совмещения с другими веществами, а также относительная простота конструирования и многообразие биологических свойств (Mohd Yusof H et al., 2019). Так, к примеру, было установлено, что наночастицы диоксида кремния в количестве 100 мг/кг сухого вещества корма способны модулировать иммунологические показатели (Красноперов АС и др., 2018), интенсифицировать рост, стимулировать выработку соматотропина, витамина D3 и улучшать состояние костной ткани у телят (Ojha L et al., 2025).

При этом, однако, следует учитывать как нано- и ультрадисперсные частицы могут взаимодействовать с другими кормовыми добавками, также используемыми в качестве дополнений к основному рациону или для его балансирования по биологически активным веществам, макро- и микроэлементам. Одной из таких добавок, в частности, выступают различные источники серы (Shin H et al., 2023; Hartman SJ et al., 2018) в виду того факта, что она тесно связана с метаболизмом азота и витаминов группы В и, соответственно, является незаменимым элементом для животных. Низкая концентрация серы в рационе может привести к неспособности микробиоты синтезировать адекватные количества аминокислот (цистеин, метионин) и сырого микробного протеина, снижать выработку общих летучих жирных кислот в рубце и усвояемость клетчатки, что отрицательно сказывается на продуктивности животных (McSweeney CS and Denman SE, 2007). Она же необходима для развития некоторых микроорганизмов. К примеру, было показано, что введение дополнительного количества серы в корма бычков стимулирует рост анаэробных грибов и *Fibrobacter succinogenes* (McSweeney CS and Denman SE, 2007).

Тем не менее в качестве источника серы могут выступать как неорганические, так и органические вещества. Положительное влияние на рубцовое пищеварение сельскохозяйственных животных описано для сернокислого натрия (Сехин А.А. и др. 2023; Zhao Y et al., 2020). Органическим источником серы, как правило, выступает метионин (Attia YA et al., 2022), обеспечивающий к тому же синтез металлотионеинов, способных связывать и выводить токсиканты из организма (Colovic MB et al., 2018). При этом максимальная эффективность метионина в кормлении достигается его совместным применением с триптофаном и лизином (Liaqat R et al., 2024; Zou S et al., 2023). Таким образом, следует проводить предварительную оценку взаимодействия УДЧ с другими кормовыми компонентами, для того чтобы выявить оптимальную рецептуру их дачи, иными словами – скармливать ли их совместно для потенцирования синергетического эффекта, либо же в отдельные дачи корма, чтобы избежать антагонистического действия.

Цель исследования.

Оценить влияние серосодержащего органоминерального комплекса на основе аминокислот и Na_2SO_4 на эффективность рубцового пищеварения методом *in situ* в чистом виде и в сочетании с УДЧ SiO_2 .

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Бычки казахской белоголовой породы в возрасте 11-12 месяцев живой массой $266 \pm 4,53$ кг ($n=3$).

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств «Об обращении с

животными», ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.) и Руководством по работе с лабораторными животными (http://fncbst.ru/?page_id=3553). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Исследования были проведены в 2024 году в виварии ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН по схеме, представленной в таблице 1.

Таблица 1. Схема экспериментальных работ

Table 1. Experimental design

Группа / Group	Компоненты кормовой добавки и их дозировки (мг/л рубцовой жидкости) / Feed additive components and their dosages (mg/L of rumen fluid)		
	аминокислотный комплекс / amino acid complex	Na ₂ SO ₄	УДЧ SiO ₂ / UFP SiO ₂
Контроль/Control	-	-	-
I	L-триптофан (4,66) + DL-метионин (60) + L-лизин моногидрохлорид (360) / <i>L-tryptophan (4,66) + DL-methionine (60) + L-lysine monohydrochloride (360)</i>	133,2	-
II	L-триптофан (4,66) + DL-метионин (60) + L-лизин моногидрохлорид (360) / <i>L-tryptophan (4,66) + DL-methionine (60) + L-lysine monohydrochloride (360)</i>	133,2	100

В качестве компонентов кормовых добавок использовали: ультрадисперсные частицы диоксида кремния (УДЧ SiO₂, ХЧ 99,8 %; S_{уд}=55,4 м²/г; Z-потенциал 31±0,5 мВ; ИП Хисамутдинов Р.А., Россия); сульфат натрия безводный (Na₂SO₄ ХЧ; «Орхимком», Россия); аминокислотный комплекс, включающий чистый L-триптофан, химически-чистый DL-метионин, чистый L-лизин моногидрохлорид (Волгахимпром, Россия). Выбор дозировок был обоснован ранее проведенными исследованиями с учетом норм кормления (Косян Д.Б. и Макаева А.М., 2018; Zhao Y et al., 2020). Точные навески готовили на лабораторных электронных весах МБ 210-А (ЗАО «Сартогосм», Россия).

Исследование проводили методом *in situ*, для чего анализируемые комплексы веществ смешивали со 100 граммами корма, распределяя их по 20 нейлоновым мешочкам. Последние через хроническую фистулу (ANKOM Technology Corporation, США) помещали на 24 ч в рубец животных, рацион которых включал сено злаковое (1 кг), сено бобовое (2 кг), силос кукурузный (9,5 кг), дроблёную зерносмесь (2 кг), жмых подсолнечный (0,1 кг), патоку кормовую (0,6 кг), соль поваренную (37 г), монокальцийфосфат (47,7 г) и премикс (20 г). По завершении опыта мешки с переваримым кормом извлекали, промывали под проточной водой и сушили в сушильном шкафу ГП-80 СПУ до константного веса при температуре +100 °С. Параллельно отбирали пробы рубцовой жидкости. Транспортировку осуществляли в закрытом сосуде без доступа воздуха в течение 30 минут, поддерживая температурный режим +38,5...+39,5 °С. Перед использованием рубцовую жидкость тщательно встряхивали и процеживали через 4 слоя марли.

Коэффициент переваримости определяли по формуле (1):

$$K = \frac{100 - (m_1 - m_2)}{100} \times 100 \% , \quad (1)$$

где m₁ – масса высушенных мешочков с кормом, после переваривания, г;

m₂ – масса мешочков без корма, г.

Численность простейших в рубцовой жидкости устанавливали с помощью камеры Горяева и микроскопа «Микромед 1» («Здравторг», Россия). Для этого в пробирку отбирали 5 мл профильтрованного содержимого рубца и добавляли 0,1 мл 4 % раствора формалина для фиксации инфузорий и 20 мкл метиленового синего. Встряхивали 1-2 мин. В камеру с сеткой Горяева под покровное стекло вносили 1 каплю жидкости и подсчитывали количество инфузорий в 25 больших квадратах, после чего определяли число простейших в 1 мл рубцового содержимого по формуле (2):

$$N = \frac{1000 \times n \times b}{S \times h} = \frac{1000 \times n \times 2}{25 \times 0,04 \times 0,1} = 20000n, \quad (2)$$

где n – количество клеток, подсчитанных в определенном секторе;

b – кратность разведения пробы;

S – площадь исследуемого сектора;

h – глубина счетной камеры.

Общий и остаточный азот в рубцовой жидкости определяли методом Кьельдаля, белковый – расчетным путем по разности общего и остаточного азота, аммиак – микродиффузным методом в чашках Конвея. Концентрацию летучих жирных кислот в рубцовой жидкости определяли на хроматографе «Кристалл ЛЮКС 4000».

Элементный состав (Mg, Ca, K, P, Mn, I, Co, Fe, Zn, Cu, Ni, Pb, As, Al, Cd) рубцовой жидкости устанавливали атомно-эмиссионным и масс-спектральными методами на масс-спектрометре Agilent 7900 (Agilent Technologies, США).

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены на базе Центра коллективного пользования ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-бст.рф>) с применением следующего оборудования: электронные весы МБ 210-А (ЗАО «Сартогосм», Россия), сушильный шкаф ШС-80-01-СПУ (Смоленское СКТБ СПУ, Россия), микроскоп «Микромед 1» (Здравторг, Россия), хроматограф Кристалл ЛЮКС 4000, масс-спектрометр Agilent 7900 (Agilent Technologies, США).

Статистическая обработка. Экспериментальные данные обрабатывали с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) и обработкой данных в «Statistica 12» («Stat Soft Inc.», США). Результаты представлены в виде среднего (M) и стандартной ошибки среднего (m). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента. Достоверными считали результаты при $P < 0,05$.

Результаты исследований.

Оценка прототипа кормовой добавки на основе серосодержащего аминокислотного комплекса с включением УДЧ SiO_2 и без них показала выраженные изменения в рубцовом метаболизме (табл. 2).

Переваримость сухого вещества корма увеличилась в I и II группах в сравнении с контролем на 3,7 и 2,6 % соответственно.

Отмечались более высокие значения количества инфузорий на 1 мл рубцовой жидкости – в 1,37 (I группа, $P \leq 0,05$) и 2,02 (II группа, $P \leq 0,001$) раза. В I опытной группе концентрация уксусной кислоты выросла на 112 % ($P \leq 0,001$), пропионовой кислоты – на 77,7 % ($P \leq 0,001$), масляной кислоты – на 76,8 % ($P \leq 0,05$), валерьяновой и капроновой кислот – на 79,8 ($P \leq 0,001$) и 75 % ($P \leq 0,05$) соответственно. Во II группе в сравнении с контролем уровень уксусной, пропионовой, масляной и валерьяновой кислот был выше на 44,3 ($P \leq 0,005$); 4,52; 12,7 и 32,6 ($P \leq 0,001$) %.

Таблица 2. Показатели рубцового пищеварения *in situ* при использовании серосодержащего органоминерального комплекса (аминокислоты+Na₂SO₄) и его комбинации с УДЧ SiO₂ (24 ч)Table 2. Indicators of ruminal digestion *in situ* when using a sulfur-containing organomineral complex (amino acids + Na₂SO₄) and its combination with UFP SiO₂ (24 h)

Показатель / <i>Indicator</i>	Группа / <i>Group</i>		
	контроль / <i>Control</i>	I	II
Количество инфузорий, тыс./мл / <i>Number of infusoria,</i> <i>thousand/ml</i>	538,9±9,62	741,5±35,3**	1 090,7±27,7***
Коэффициент переваримо- сти, % / <i>The coefficient</i> <i>of digestibility, %</i>	46,3±1,91	50±2,39	48,9±2,09
Формы азота / <i>Forms of nitrogen</i>			
Общий азот, мг% / <i>Total nitrogen, mg%</i>	81,9±3,81	147±6,45***	77,7±3,12
Небелковый азот, мг% / <i>Non-protein nitrogen, mg%</i>	18,9±0,52	30,1±0,2***	14±0,57**
Аммиачный азот, % / <i>Ammonia nitrogen, %</i>	0,0014±0,0001	0,0021±0,0001**	0,0028±0,0001***
Мочевинный азот, мг% / <i>Urea nitrogen, mg%</i>	5,25±0,28	5,29±0,4	6±0,17
Белковый азот, мг% / <i>Protein nitrogen, mg%</i>	63±1,02	116,9±0,69***	63,7±0,75
ЛЖК / <i>Volatile fatty acids</i>			
Уксусная кислота, мг/дм ³ / <i>Acetic acid, mg/dm³</i>	8,94±0,53	19±0,25***	12,9±0,26**
Пропионовая кислота, мг/дм ³ / <i>Propionic acid,</i> <i>mg/dm³</i>	6,19±0,24	11±0,49***	6,47±0,38
Масляная кислота, мг/дм ³ / <i>Butyric acid, mg/dm³</i>	9,05±0,62	16±0,69**	10,17±0,49
Валерьяновая кислота, мг/дм ³ / <i>Valerian acid, mg/dm³</i>	0,89±0,009	1,6±0,02***	1,18±0,02***
Капроновая кислота, мг/дм ³ / <i>Caproic acid, mg/dm³</i>	0,08±0,001	0,14±0,008**	0,08±0,004

Примечание: * – P≤0,05; ** – P ≤ 0,01; *** – P≤0,001

Note: * – P≤0.05; ** – P≤0.01; *** – P≤0.001

В I опытной группе в рубцовой жидкости достоверно повышалось содержание общего (+79,5 %, P≤0,001), небелкового (+52,3 %, P≤0,01), аммиачного (+50 %, P≤0,05) и белкового (+85,6 %, P≤0,001) азота. Во II группе, напротив, концентрация общего и небелкового азота была ниже на 5,13 и 25,9 % (P≤0,05), тогда как уровень аммиачного и мочевиного азота увеличился на 100 (P≤0,01) и 14,3 % соответственно.

По элементному составу рубцовой жидкости существенных изменений по группам выявлено не было (табл. 3), только в случае с комплексом аминокислот и Na₂SO₄ отмечалось повышение концентрации Ва на 74,4 (P≤0,01).

Таблица 3. Концентрация химических элементов в рубцовой жидкости крупного рогатого скота в эксперименте *in situ* при использовании серосодержащего органоминерального комплекса (аминокислоты+Na₂SO₄) и его комбинации с УДЧ SiO₂ (24 ч)

Table 3. Concentration of chemical elements in the rumen fluid *in situ* when using a sulfur-containing organomineral complex (amino acids+Na₂SO₄) and its combination with UFP SiO₂ (24 h)

Элемент / <i>Element</i>	Группа / <i>Group</i>		
	контроль / <i>Control</i>	I	II
B	0,18±0,009	0,16±0,008	0,17±0,006
Na	3 248,6±113,5	3 412,9±122,8	3 260,2±133,4
Mg	49,3±1,97	46,76±1,78	45,5±1,51
Al	1,14±0,11	1,39±0,06	1,03±0,05
P	1 292,3±40,1	1 271,3±48,3	1 300,1±44,2
K	1 397,5±46,1	1 277,13±43,4	1 415,75±49,6
Ca	35,8±1,11	33,7±1,21	35,1±1,33
Sr	0,21±0,008	0,15±0,007	0,18±0,006
Ba	0,09±0,003	0,15±0,005**	0,09±0,003
Cr	0,27±0,02	0,27±0,02	0,27±0,01
Fe	3,16±0,12	2,59±0,09	2,66±0,09
Zn	1,67±0,052	1,7±0,06	1,61±0,060
Se	0,02±0,008	0,02±0,005	0,02±0,008

Примечание: ** – P≤0,01

Note: ** – P≤0.01

Таким образом, серосодержащий органоминеральный комплекс на основе аминокислот и Na₂SO₄ интенсифицирует энергетический и азотный обмен в рубце жвачных, что подтверждается ростом концентрации ЛЖК и форм азота. Однако дополнительно включение УДЧ SiO₂ несколько нивелирует этот эффект. Обе кормовые добавки не оказывают воздействия на элементный профиль рубцовой жидкости.

Обсуждение полученных результатов.

В последние десятилетия наноматериалы нашли широкое применение в различных областях жизнедеятельности человека, в том числе и в сельском хозяйстве (Morsy EA et al., 2021). В животноводстве показаны перспективы использования наночастиц для удовлетворения потребности животных в элементах и с целью повышения их продуктивности и улучшения микробного профиля (Hidayat S et al., 2021). Особое внимание уделяется потенциалу их применения в качестве эффекторов пищеварительных процессов (Patra A and Lalhriatpuii M, 2020).

В нашем исследовании наблюдалось увеличение коэффициента переваримости в опытных группах в сравнении с контролем, что тенденциозно совпадало с ростом численности инфузорий в рубцовой жидкости. Последнее может быть вызвано комплексом факторов, связанных с микробной активностью в рубце. В метаболизме аминокислот участвует более широкий спектр микроорганизмов по сравнению с сульфатом натрия (Bento CB et al., 2015).

Проведенное нами исследование выявило определенную зависимость между изменением количества инфузорий и динамикой уровня летучих жирных кислот в рубцовой жидкости. Было также показано, что введение в рацион животных сульфата натрия и аминокислот положительно сказывается на концентрации ЛЖК, что согласуется с ранее проведенными работами (Zhao Y et al., 2020; Kong F et al., 2020).

Одним из показателей, характеризующих эффективность рубцового пищеварения, является соотношение азотистых компонентов рубцовой жидкости. Существует прямая зависимость между концентрацией аммиачной и мочевиной форм азота и уровнем распада белка в рубце (Рядчиков В.Г. и

др., 2019). В ходе проведенных нами исследований было установлено повышение содержания белкового азота в рубцовой жидкости в I группе по сравнению с контрольной группой. Увеличение белкового азота и аммиачного азота в рубцовой жидкости I и II групп свидетельствует об эффективности рубцового пищеварения и активном использовании аммиака микробиотой рубца, что также подтверждается работами других авторов (Курепин А.А. и др., 2017; Мишуров А.В., 2021).

Эффективность рубцового пищеварения напрямую зависит от жизнедеятельности симбиотических микроорганизмов и простейших (Duskaev GK et al., 2019). Бактерии играют важную роль в пищеварении жвачных животных, осуществляя расщепление и переработку сложных углеводов, таких как клетчатка. С течением времени наблюдается постепенное снижение биомассы бактерий. Эта тенденция может быть связана с активизацией микроорганизмов для участия в пищеварительных процессах в преджелудке жвачных животных или с активным прикреплением к поверхности пищевого кома (Makaeva AM et al., 2019).

Таким образом, созданные прототипы органоминеральной кормовой добавки приводили к положительным сдвигам в рубцовом метаболизме, в экспериментах *in situ*, что выражалось в улучшении таких показателей как количество инфузорий и концентрация летучих жирных кислот. В следующих исследованиях на животных *in vivo* нами был использован данный вариант прототипа органоминеральной кормовой добавки.

Заключение.

Исследование продемонстрировало благоприятное воздействие комбинированного применения изучаемых веществ на процессы рубцового пищеварения. Совместное использование ультрадисперсной формы диоксида кремния, аминокислотного комплекса и сульфата натрия оказалось эффективным в стимулировании рубцового пищеварения.

Список источников

1. Косян Д.Б., Макаева А.М. Перспектива использования наночастиц диоксида кремния для повышения переваримости кормового субстрата // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 4. С. 8-14. [Kosyan DB, Makaeva AM. The prospect of using silicon dioxide nanoparticles to increase digestibility of the feed substrate. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018;101(4):8-14. (*In Russ.*)].
2. Красноперов А.С., Малков С.В., Верещак Н.А. Воздействие диоксида кремния на иммунологические показатели телят при эндотоксикозах // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2018. № 4. С. 234-239. [Krasnoperov AS, Malkov SV, Vereshchak NA. Influence of silicon dioxide on immunological indicators of calves in endotoxycoses. *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniâ v veterinarii*. 2018;4:234-239. (*In Russ.*)]. doi: 10.17238/issn2072-6023.2018.4.234
3. Курепин А.А., Лемешевский В.О., Фурс Н.Л. Интенсивность ферментативных процессов в рубце при различном уровне структурных углеводов в рационе животных // Животноводство и ветеринарная медицина. 2017. № 4. С. 26-31. [Kurepin AA, Lemeshevsky VO, Furs NL. Intensivnost' fermentativnyh processov v rubce pri razlichnom urovne strukturnykh uglevodov v racione zhivotnyh. *Animal Agriculture and Veterinary Medicine*. 2017;4:26-31. (*In Russ.*)].
4. Мишуров А.В. Влияние биологически активных веществ на рубцовый метаболизм овец // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2021. Т. 13, № 2. С. 35-41. [Mishurov AV. The influence of biologically active substances on sheep rumen metabolism. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2021;13(2):35-41. (*In Russ.*)]. doi: 10.36508/RSATU.2021.50.2.005
5. Применение сульфата натрия в рационах коров в период раздоя / А.А. Сехин, В.Н. Сурмач, З.И. Ножинская, А.Р. Пресняк // Сельское хозяйство - проблемы и перспективы: сб. науч. тр. Гродно: ГГАУ, 2023. Т. 61, С. 238-243. [Sehin AA, Surmach VN, Nozhinskaya ZI, Presnyak AR. The use of sodium sulfate in the diets of cows during the milking period. *Sel'skoe hozjajstvo - problemy i perspektivy: sb. nauch. tr. Grodno: GGAU*. 2023;61:238-243. (*In Russ.*)].

6. Распадаемость кормового белка – важный фактор эффективности использования азота и молочной продуктивности лактирующих коров / В.Г. Рядчиков, А.А. Солдатов, Е.Л. Харитонов, О.Г. Шляхова, А. Тантави, Н.С. Комарова // Эффективное животноводство. 2019. № 3(151). С. 42-48. [Ryadchikov VG, Soldatov AA, Kharitonov EL, Shlyakhova OG, Tantavi A, Komarova NS. Raspa-daemost' kormovogo belka - vazhnyj faktor jeffektivnosti ispol'zovanija azota i molochnoj produktivnosti laktirushhih korov. Effektivnoe zhivotnovodstvo. 2019;3(151):42-48. (In Russ.)].
7. Abbas W, Howard JT, Paz HA, Hales KE, Wells JE, Kuehn LA, Erickson GE, Spangler ML, Fernando SC. Influence of host genetics in shaping the rumen bacterial community in beef cattle. *Sci Rep*. 2020;10:15101. doi: 10.1038/s41598-020-72011-9
8. Attia YA, Al-Harathi MA, Shafi ME, Abdulsalam NM, Nagadi SA, Wang J, Kim WK. Amino acids supplementation affects sustainability of productive and meat quality, survivability and nitrogen pollution of broiler chickens during the early life. *Life (Basel)*. 2022;12(12):2100. doi: 10.3390/life12122100
9. Bento CB, de Azevedo AC, Detmann E, Mantovani HC. Biochemical and genetic diversity of carbohydrate-fermenting and obligate amino acid-fermenting hyper-ammonia-producing bacteria from Nellore steers fed tropical forages and supplemented with casein. *BMC Microbiol*. 2015;15:28. doi: 10.1186/s12866-015-0369-9
10. Bunglavan SJ, Garg AK, Dass RS, Shrivastava S. Use of nanoparticles as feed additives to improve digestion and absorption in livestock. *Livest Res Int*. 2014;2(3):36-47.
11. Clemmons BA, Voy BH, Myer PR. Altering the gut microbiome of cattle: Considerations of host-microbiome interactions for persistent microbiome manipulation. *Microb Ecol*. 2019;77:523-536. doi: 10.1007/s00248-018-1234-9
12. Colovic MB, Vasic VM, Djuric DM, Krstic DZ. Sulphur-containing amino acids: protective role against free radicals and heavy metals. *Curr Med Chem*. 2018;25(3):324-335. doi: 10.2174/0929867324666170609075434
13. Duskaev GK, Karimov IF, Levakhin GI, Nurzhanov Baer, Rysaev Albert, Dusaeva H. Ecology of ruminal microorganisms under the influence of quercus cortex extract. *Int J of GEOMATE*. 2019;16(55):59-66. doi: 10.21660/2019.55.4673
14. Gheller LS, Ghizzi LG, Marquesa JA, Takiya CS, Grigoletto NTS, Diasa MSS, Silva TBP, Nunes AT, Silva GG da, Fernandes LGX, Rennó L N, Rennó FP. Effects of organic acid-based products added to total mixed ration on performance and ruminal fermentation of dairy cows. *Anim Feed Sci Technol*. 2020;261:114406. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114406
15. Hartman SJ, Genther-Schroeder ON, Hansen SL. Comparison of trace mineral repletion strategies in feedlot steers to overcome diets containing high concentrations of sulfur and molybdenum. *J Anim Sci*. 2018;96(6):2504-2515. doi: 10.1093/jas/sky088
16. Hidayat C, Sumiati S, Jayanegara A, Wina E. Supplementation of dietary nano Zn-phytogenic on performance, antioxidant activity, and population of intestinal pathogenic bacteria in broiler chicken. *Trop Anim Sci J*. 2021;44(1):90-99. doi: 10.5398/tasj.2021.44.1.90
17. Jami E, Mizrahi I. Composition and similarity of bovine rumen microbiota across individual animals. *PLoS ONE*. 2012;7(3):e33306. doi: 10.1371/journal.pone.0033306
18. Kong F, Gao Y, Tang M, Fu T, Diao Q, Bi Y, Tu Y. Effects of dietary rumen-protected Lys levels on rumen fermentation and bacterial community composition in Holstein heifers. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2020;104(15):6623-6634. doi: 10.1007/s00253-020-10684-y
19. Li F, Li C, Chen Y, Liu J, Zhang C, Irving B, Fitzsimmons C, Plastow G, Guan LL. Host genetics influence the rumen microbiota and heritable rumen microbial features associate with feed efficiency in cattle. *Microbiome*. 2019;7:92. doi: 10.1186/s40168-019-0699-1
20. Li Z, Wang X, Zhang Y, Yu Z, Zhang T, Dai X, Pan X, Jing R, Yan Y, Liu Y, Gao S, Li F, Huang Y, Tian J, Yao J, Xing X, Shi T, Ning J, Yao B, Huang H, Jiang Y. Genomic insights into the phylogeny and biomass-degrading enzymes of rumen ciliates. *The ISME J*. 2022;16(12):2775-2787. doi: 10.1038/s41396-022-01306-8
21. Liaqat R, Fatima S, Komal W, Minahal Q, Hussain AS. Dietary supplementation of methionine, lysine, and tryptophan as possible modulators of growth, immune response, and

disease resistance in striped catfish (*Pangasius hypophthalmus*). *PLoS One*. 2024;19(4):e0301205. doi: 10.1371/journal.pone.0301205

22. Makaeva A, Atlanderova K, Miroshnikov S, Sizova E. Rumen microbiome of cattle after introduction of ultrafine particles in feed. *FEBS Open Bio*. 2019;9(S1):416. doi:10.1002/2211-5463.12675

23. Malmuthuge N, Guan LL. Understanding host-microbial interactions in rumen: searching the best opportunity for microbiota manipulation. *J Animal Sci Biotechnol*. 2017;8:8. doi: 10.1186/s40104-016-0135-3

24. McSweeney CS, Denman SE. Effect of sulfur supplements on cellulolytic rumen microorganisms and microbial protein synthesis in cattle fed a high fibre diet. *J Appl Microbiol*. 2007;103(5):1757-65. doi: 10.1111/j.1365-2672.2007.03408.x

25. Meenongyai W, Rasri K, Rodjapot S, Duangphayap T, Khejornsart P, Wongpanit K, Phongkaew P, Bashar A, Islam Z. Effect of coated cysteamine hydrochloride and probiotics supplemented alone or in combination on feed intake, nutrients digestibility, ruminal fermentation, and blood metabolites of Kamphaeng Saen beef heifers. *Trop Anim Health Prod*. 2023;55:69-78. doi: 10.1007/s11250-023-03499-2

26. Mohd Yusof H, Mohamad R, Zaidan UH, Abdul Rahman NA. Microbial synthesis of zinc oxide nanoparticles and their potential application as an antimicrobial agent and a feed supplement in animal industry: a review. *J Anim Sci Biotechnol*. 2019;10:57. doi: 10.1186/s40104-019-0368-z

27. Morsy EA, Hussien AM, Ibrahim MA, Farroh KY, Hassanen EI. (2021). Cytotoxicity and genotoxicity of copper oxide nanoparticles in chickens. *Biol Trace Elem Res*. 2021;199:4731-4745. doi: 10.1007/s12011-021-02595-4

28. Ojha L, Malik R, Mani V, Singh AK, Singh M. Influence of silicon supplementation on growth, immunity, antioxidant, hormonal profile and bone health biomarkers in pre-ruminant crossbred calves. *Biol Trace Elem Res*. 2025;203(1):187-198. doi: 10.1007/s12011-024-04178-5

29. Oliveira LN, Pereira MAN, Oliveira CDS, Oliveira CC, Silva RB, Pereira RAN, Devries TJ, Pereira MN. Effect of low dietary concentrations of *Acacia mearnsii* tannin extract on chewing, ruminal fermentation, digestibility, nitrogen partition, and performance of dairy cows. *J Dairy Sci*. 2023;106(5):3203-3216. doi: 10.3168/jds.2022-22521

30. Patra A, Lalhriatpuii M. Progress and prospect of essential mineral nanoparticles in poultry nutrition and feeding – a review. *Biol Trace Elem Res*. 2020;197(1):233-253. doi: 10.1007/s12011-019-01959-1

31. Shin H, Jin X, Gim M, Kim Y. Inclusion of dietary nontoxic sulfur on growth performance, immune response, sulfur amino acid content and meat characteristics in growing-finishing pigs. *Anim Biosci*. 2023;36(5):776-784. doi: 10.5713/ab.22.0418

32. Soltis MP, Moorey SE, Egert-mclean AM, Voy BH, Shepherd EA, Myer PR. Rumen biogeographical regions and microbiome variation. *Microorganisms*. 2023;11(3):747-758. doi: 10.3390/microorganisms11030747

33. Stivari TSS, Raineri C, Sartorello GL, Gameiro AH, Silva JBA. Aditivos enzimáticos na alimentação de ruminantes: estratégia para a produção animal. *PUBVET*. 2014;8:1283-1415.

34. Varela AMG, Lima JR DM, Araújo TLAC, Souza JR JBF, Costa LLM, Pereira MWF, Batista NV, Melo VLL, Lima PO. The effect of propolis extract on milk production and composition, serum biochemistry, and physiological parameters of heat-stressed dairy cows. *Trop Anim Health Prod*. 2023;55:244-251. doi: 10.1007/s11250-023-03647-8

35. Zhao Y, Xie B, Gao J, Zhao G. Dietary supplementation with sodium sulfate improves rumen fermentation, fiber digestibility, and the plasma metabolome through modulation of rumen bacterial communities in steers. *Appl Environ Microbiol*. 2020;86(22):e01412-20. doi: 10.1128/AEM.01412-20

36. Zou S, Ji S, Xu H, Wang M, Li B, Shen Y, Li Y, Gao Y, Li J, Cao Y, Li Q. Rumen-Protected lysine and methionine supplementation reduced protein requirement of Holstein bulls by altering nitrogen metabolism in liver. *Animals (Basel)*. 2023;13(5):843. doi: 10.3390/ani13050843

References

1. Kosyan DB, Makaeva AM. The prospect of using silicon dioxide nanoparticles to increase digestibility of the feed substrate. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018;101(4):8-12.
2. Krasnoperov AS, Malkov SV, Vereshchak NA. Influence of silicon dioxide on immunological indicators of calves in endotoxycoses. *Issues of Normative and Legal Regulation in Veterinary Medicine*. 2018;4:234-239. doi: 10.17238/issn2072-6023.2018.4.234
3. Kurepin AA, Lemeshevsky VO, Furs NL. Intensity of enzymatic processes in the logging at different levels of structural carbohydrates in the animal diet. *Animal Agriculture and Veterinary Medicine*. 2017;4:26-31.
4. Mishurov AV. The influence of biologically active substances on sheep rumen metabolism. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2021;13(2):35-41. doi: 10.36508/RSATU.2021.50.2.005
5. Sehin AA, Surmach VN, Nozhinskaya ZI, Presnyak AR. The use of sodium sulfate in the diets of cows during the milking period. *Agriculture - problems and prospects: collection of scientific papers*. Grodno: GGAU. 2023;61:238-243.
6. Ryadchikov VG, Soldatov AA, Kharitonov EL, Shlyakhova OG, Tantavi A, Komarova NS. The decomposition of feed protein is an important factor in the efficiency of nitrogen use and milk productivity of lactating cows. *Efficient Animal Husbandry*. 2019;3(151):42-48.
7. Abbas W, Howard JT, Paz HA, Hales KE, Wells JE, Kuehn LA, Erickson GE, Spangler ML, Fernando SC. Influence of host genetics in shaping the rumen bacterial community in beef cattle. *Sci Rep*. 2020;10:15101. doi: 10.1038/s41598-020-72011-9
8. Attia YA, Al-Harthi MA, Shafi ME, Abdulsalam NM, Nagadi SA, Wang J, Kim WK. Amino acids supplementation affects sustainability of productive and meat quality, survivability and nitrogen pollution of broiler chickens during the early life. *Life (Basel)*. 2022;12(12):2100. doi: 10.3390/life12122100
9. Bento CB, de Azevedo AC, Detmann E, Mantovani HC. Biochemical and genetic diversity of carbohydrate-fermenting and obligate amino acid-fermenting hyper-ammonia-producing bacteria from Nellore steers fed tropical forages and supplemented with casein. *BMC Microbiol*. 2015;15:28. doi: 10.1186/s12866-015-0369-9
10. Bunglavan SJ, Garg AK, Dass RS, Shrivastava S. Use of nanoparticles as feed additives to improve digestion and absorption in livestock. *Livest Res Int*. 2014;2(3):36-47.
11. Clemmons BA, Voy BH, Myer PR. Altering the gut microbiome of cattle: Considerations of host-microbiome interactions for persistent microbiome manipulation. *Microb Ecol*. 2019;77:523-536. doi: 10.1007/s00248-018-1234-9
12. Colovic MB, Vasic VM, Djuric DM, Krstic DZ. Sulphur-containing amino acids: protective role against free radicals and heavy metals. *Curr Med Chem*. 2018;25(3):324-335. doi: 10.2174/0929867324666170609075434
13. Duskaev GK, Karimov IF, Levakhin GI, Nurzhanov Baer, Rysaev Albert, Dusaeva H. Ecology of ruminal microorganisms under the influence of quercus cortex extract. *Int J of GEOMATE*. 2019;16(55):59-66. doi: 10.21660/2019.55.4673
14. Gheller LS, Ghizzi LG, Marquesa JA, Takiya CS, Grigoletto NTS, Diasa MSS, Silva TBP, Nunes AT, Silva GG da, Fernandes LGX, Rennó L N, Rennó FP. Effects of organic acid-based products added to total mixed ration on performance and ruminal fermentation of dairy cows. *Anim Feed Sci Technol*. 2020;261:114406. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114406
15. Hartman SJ, Genther-Schroeder ON, Hansen SL. Comparison of trace mineral repletion strategies in feedlot steers to overcome diets containing high concentrations of sulfur and molybdenum. *J Anim Sci*. 2018;96(6):2504-2515. doi: 10.1093/jas/sky088
16. Hidayat C, Sumiati S, Jayanegara A, Wina E. Supplementation of dietary nano Zn-phytogenic on performance, antioxidant activity, and population of intestinal pathogenic bacteria in broiler chicken. *Trop Anim Sci J*. 2021;44(1):90-99. doi: 10.5398/tasj.2021.44.1.90
17. Jami E, Mizrahi I. Composition and similarity of bovine rumen microbiota across individual animals. *PLoS ONE*. 2012;7(3):e33306. doi: 10.1371/journal.pone.0033306

18. Kong F, Gao Y, Tang M, Fu T, Diao Q, Bi Y, Tu Y. Effects of dietary rumen-protected Lys levels on rumen fermentation and bacterial community composition in Holstein heifers. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2020;104(15):6623-6634. doi: 10.1007/s00253-020-10684-y
19. Li F, Li C, Chen Y, Liu J, Zhang C, Irving B, Fitzsimmons C, Plastow G, Guan LL. Host genetics influence the rumen microbiota and heritable rumen microbial features associate with feed efficiency in cattle. *Microbiome.* 2019;7:92. doi: 10.1186/s40168-019-0699-1
20. Li Z, Wang X, Zhang Y, Yu Z, Zhang T, Dai X, Pan X, Jing R, Yan Y, Liu Y, Gao S, Li F, Huang Y, Tian J, Yao J, Xing X, Shi T, Ning J, Yao B, Huang H, Jiang Y. Genomic insights into the phylogeny and biomass-degrading enzymes of rumen ciliates. *The ISME J.* 2022;16(12):2775-2787. doi: 10.1038/s41396-022-01306-8
21. Liaquat R, Fatima S, Komal W, Minahal Q, Hussain AS. Dietary supplementation of methionine, lysine, and tryptophan as possible modulators of growth, immune response, and disease resistance in striped catfish (*Pangasius hypophthalmus*). *PLoS One.* 2024;19(4):e0301205. doi: 10.1371/journal.pone.0301205
22. Makaeva A, Atlanderova K, Miroshnikov S, Sizova E. Rumen microbiome of cattle after introduction of ultrafine particles in feed. *FEBS Open Bio.* 2019;9(S1):416. doi:10.1002/2211-5463.12675
23. Malmuthuge N, Guan LL. Understanding host-microbial interactions in rumen: searching the best opportunity for microbiota manipulation. *J Animal Sci Biotechnol.* 2017;8:8. doi: 10.1186/s40104-016-0135-3
24. McSweeney CS, Denman SE. Effect of sulfur supplements on cellulolytic rumen microorganisms and microbial protein synthesis in cattle fed a high fibre diet. *J Appl Microbiol.* 2007;103(5):1757-65. doi: 10.1111/j.1365-2672.2007.03408.x
25. Meenongyai W, Rasri K, Rodjapot S, Duangphayap T, Khejornsart P, Wongpanit K, Phongkaew P, Bashar A, Islam Z. Effect of coated cysteamine hydrochloride and probiotics supplemented alone or in combination on feed intake, nutrients digestibility, ruminal fermentation, and blood metabolites of Kamphaeng Saen beef heifers. *Trop Anim Health Prod.* 2023;55:69-78. doi: 10.1007/s11250-023-03499-2
26. Mohd Yusof H, Mohamad R, Zaidan UH, Abdul Rahman NA. Microbial synthesis of zinc oxide nanoparticles and their potential application as an antimicrobial agent and a feed supplement in animal industry: a review. *J Anim Sci Biotechnol.* 2019;10:57. doi: 10.1186/s40104-019-0368-z
27. Morsy EA, Hussien AM, Ibrahim MA, Farroh KY, Hassanen EI. (2021). Cytotoxicity and genotoxicity of copper oxide nanoparticles in chickens. *Biol Trace Elem Res.* 2021;199:4731-4745. doi: 10.1007/s12011-021-02595-4
28. Ojha L, Malik R, Mani V, Singh AK, Singh M. Influence of silicon supplementation on growth, immunity, antioxidant, hormonal profile and bone health biomarkers in pre-ruminant crossbred calves. *Biol Trace Elem Res.* 2025;203(1):187-198. doi: 10.1007/s12011-024-04178-5
29. Oliveira LN, Pereira MAN, Oliveira CDS, Oliveira CC, Silva RB, Pereira RAN, Devries TJ, Pereira MN. Effect of low dietary concentrations of *Acacia mearnsii* tannin extract on chewing, ruminal fermentation, digestibility, nitrogen partition, and performance of dairy cows. *J Dairy Sci.* 2023;106(5):3203-3216. doi: 10.3168/jds.2022-22521
30. Patra A, Lalhriatpuii M. Progress and prospect of essential mineral nanoparticles in poultry nutrition and feeding – a review. *Biol Trace Elem Res.* 2020;197(1):233-253. doi: 10.1007/s12011-019-01959-1
31. Shin H, Jin X, Gim M, Kim Y. Inclusion of dietary nontoxic sulfur on growth performance, immune response, sulfur amino acid content and meat characteristics in growing-finishing pigs. *Anim Biosci.* 2023;36(5):776-784. doi: 10.5713/ab.22.0418
32. Soltis MP, Moorey SE, Egert-mclean AM, Voy BH, Shepherd EA, Myer PR. Rumen biogeographical regions and microbiome variation. *Microorganisms.* 2023;11(3):747-758. doi: 10.3390/microorganisms11030747
33. Stivari TSS, Raineri C, Sartorello GL, Gameiro AH, Silva JBA. Aditivos enzimáticos na alimentação de ruminantes: estratégia para a produção animal. *PUBVET.* 2014;8:1283-1415.
34. Varela AMG, Lima JR DM, Araújo TLAC, Souza JR JBF, Costa LLM, Pereira MWF, Batista NV, Melo VLL, Lima PO. The effect of propolis extract on milk production and composition, serum biochemistry, and physiological parameters of heat-stressed dairy cows. *Trop Anim Health Prod.* 2023;55:244-251. doi: 10.1007/s11250-023-03647-8

35. Zhao Y, Xie B, Gao J, Zhao G. Dietary supplementation with sodium sulfate improves rumen fermentation, fiber digestibility, and the plasma metabolome through modulation of rumen bacterial communities in steers. *Appl Environ Microbiol.* 2020;86(22):e01412-20. doi: 10.1128/AEM.01412-20

36. Zou S, Ji S, Xu H, Wang M, Li B, Shen Y, Li Y, Gao Y, Li J, Cao Y, Li Q. Rumen-Protected lysine and methionine supplementation reduced protein requirement of Holstein bulls by altering nitrogen metabolism in liver. *Animals (Basel).* 2023;13(5):843. doi: 10.3390/ani13050843

Информация об авторах:

Елена Анатольевна Сизова, доктор биологических наук, руководитель отдела «Физиология, биохимия и морфология животных», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; тел.: 8-912-344-99-07.

Айна Маратовна Камирова, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела «Физиология, биохимия и морфология животных», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8-922-548-44-89.

Елена Владимировна Яушева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, и.о. заведующего лабораторией молекулярно-генетических исследований и металломики в животноводстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8-987-850-07-15.

Даниил Евгеньевич Шошин, аспирант, лаборант-исследователь отдела «Физиология, биохимия и морфология животных», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; тел.: 8-965-932-53-67.

Марина Юрьевна Павлова, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, ул. 9 Января, г. Оренбург, д. 29, тел.: 8-922859-01-34.

Information about the authors:

Elena A Sizova, Dr. Sci. (Biology), Head of the Department of Animal Physiology, Biochemistry and Morphology, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-912-344-99-07.

Ayna M Kamirova, Cand. Sci. (Biology), Researcher of the Department of Animal Physiology, Biochemistry and Morphology, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-922-548-44-89.

Elena V Yausheva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Acting Head of Laboratory of Molecular Genetic Research and Metallomics in Animal Husbandry, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-987-850-07-15.

Daniil E Shoshin, Postgraduate student, Laboratory Researcher of the Department of Animal Physiology, Biochemistry and Morphology, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-965-932-53-67.

Marina Yu Pavlova, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-922859-01-34.

Статья поступила в редакцию 22.10.2024; одобрена после рецензирования 03.03.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 22.10.2024; approved after reviewing 03.03.2025; accepted for publication 17.03.2025.