

Изменения микробиоценоза рубца, крови и переваримость сухого вещества рациона при введении бычкам совместно с жировой добавкой ультрадисперсных частиц железа

Ю. И. Левахин¹, Б. С. Нуржанов^{1✉}, В. А. Рязанов¹, Е. Б. Джуламанов¹

¹ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

✉ E-mail: baer.nurzhanov@mail.ru

Аннотация. Желудочно-кишечный тракт крупного рогатого скота представляет собой большой и сложный биомеханизм по переработке веществ, поступающих извне, при дальнейшем их усвоении организмом животного для обеспечения нормальной жизнедеятельности и продуктивного роста. Особую роль выполняет рубец крупного рогатого скота, в котором происходят биосинтетические процессы превращения одних химических веществ и элементов в другие под действием ферментов микроорганизмов, которые играют ответственную роль в переработке компонентов пищи, а также в симбиотическом отношении друг к другу. Так, нарушение в работе одних микроорганизмов под воздействием пищевых факторов приводит к нарушению синтеза и работы остальной микробиоты, что в целом сказывается на состоянии биореактора животного в целом. **Целью** исследования было установить влияние различных дозировок ультрадисперсных частиц железа в комплексе с жировой добавкой, в составе рационов на переваримость сухого вещества корма, основные показатели рубцового содержимого, такие как микробная ферментация корма и биомасса микроорганизмов и жирнокислотный состав. **Научная новизна** работы состоит в том, что изучено влияние комплекса ультрадисперсных частиц железа разной дозировки с жировой добавкой на рубцовое пищеварение бычков, выращиваемых на мясо. **Методология и методы.** Для проведения исследований были подобраны 12 бычков, разводимых в условиях Покровского сельскохозяйственного колледжа – филиала ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет» Оренбургского района Оренбургской области. Из них по принципу аналогов подобраны четыре группы – контрольная и три опытных, по три животных в каждой, которым по методу А. А. Алиева были наложены фистулы рубца. **Результаты и область применения.** В ходе эксперимента установлено, что оптимальная дозировка наночастиц железа в смеси с жировой добавкой в составе рациона составила 425,6 мг на голову в сутки, что способствует лучшей переваримости сухого вещества на 8,98 % и большему содержанию ЛЖК в рубцовой жидкости на 2,28 % по сравнению с контролем.

Ключевые слова: рубец, микробиоценоз, жировая добавка, железо, переваримость, сухое вещество.

Для цитирования: Левахин Ю. И., Нуржанов Б. С., Рязанов В. А., Джуламанов Е. Б. Изменения микробиоценоза рубца, крови и переваримость сухого вещества рациона при введении бычкам совместно с жировой добавкой ультрадисперсных частиц железа // Аграрный вестник Урала. 2019. № 01 (192). С. 53–59. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-192-1-53-59.

Дата поступления статьи: 20.09.2019.

Постановка проблемы (Introduction)

В настоящее время наукой, занимающейся теорией и практикой кормления сельскохозяйственных животных, в частности кормлением крупного рогатого скота, накоплено много знаний и данных о применении различных видов жировых кормовых добавок [1, с. 127; 2, с. 79; 3, с. 249], также изучены и продолжают изучаться влияние наночастиц как отдельно, так и в совокупности с другими компонентами корма на реакцию в целом и биосинтез желудочно-кишечного тракта организма животного в частности [4, с. 663; 5, с. 543; 6, с. 283].

Поскольку нанотехнология обеспечивает «новое измерение», сопровождаемое новыми или измененными свойствами, присущими многим современным материалам, она широко используется для производства лекарственных препаратов нового поколения, а также в пище-

вой промышленности и даже в различных типах пищевых добавок. Эти наноформуляции добавок готовятся специально с целью улучшения биодоступности, защиты активных ингредиентов от деградации или уменьшения побочных эффектов [7, с. 296; 8, с. 131]. В результате поступления в организм наночастиц происходит адаптация микробиоты, установлена зависимость между вносимыми питательными веществами и наночастицами на ферментативную активность, морфологические и биохимические параметры крови у молодняка крупного рогатого скота, все это сказывается на рубцовом пищеварении и организме в целом [10, с. 295; 11, с. 413; 12, с. 144; 13, с. 1479].

Введение в состав рациона жировых добавок способствует насыщенности большей энергией, что повышает продуктивность животного и оказывает значимое воз-

действие на показатели рубцового пищеварения. Установлена взаимосвязь между микрофлорой и наночастицами при введении их в рацион крупного рогатого скота.

Цель исследования – изучить влияние в различных дозировках наночастиц железа (Fe) в составе жировой добавки «Палматрикс» на процессы рубцового пищеварения бычков и эффективность использования ими питательных веществ рациона и определить наиболее оптимальный вариант их использования

Методология и методы исследования (Methods)

Объект исследования – 12 бычков красной степной породы в возрасте 12 месяцев.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями ГОСТ 34088-2017 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за сельскохозяйственными животными» (Guidelines for accommodation and care of laboratory animals. Rules for keeping and care of farm animals). При выполнении исследования были предприняты усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных.

Исследования были проведены в Покровском сельскохозяйственном колледже Оренбургского района на бычках красной степной породы (n = 12), которым по методу А. А. Алиева были наложены фистулы рубца.

Рационы кормления животных составлялись с учетом норм потребности в питательных веществах, энергии, а также микро- и макроэлементов, в том числе и железа, и рассчитаны на получение 900–1000 г среднесуточных приростов. Рацион бычков контрольной группы состоял из 30 % сена, 30 % силоса кукурузного, 40 % концентратов, в состав которых входила жировая добавка «Палматрикс» в количестве 400 г, которая является оптимальной, установлена на основании ранее проведенных исследований. В рационе содержалось 6,3 кормовых единиц, 7,4 кг сухого вещества, 72 МДж обменной энергии, 663 г переваримого протеина, 1753 г клетчатки, 864 г крахмала, 524 г сахара, 43 г кальция, 30 г фосфора, 24 г серы, 532 г железа.

Молодняку I опытной группы в составе основного рациона скармливали в смеси с жиросодержащей добавкой «Палматрикс» дополнительно наночастицы Fe в количестве 478,8 мг, II – соответственно 425,6 мг, III – Fe 372,4 мг на голову сутки.

С целью изучения факторов, влияющих на рубцовое пищеварение, были проведены исследования состава рубцовой жидкости продолжительностью 14 дней. Для этого у фистульных животных через 3 часа после кормления брали пробы (300 мл) рубцового содержимого, которые фильтровали через 4 слоя марли и в жидкой части определяли pH. Количество микробиальной массы – методом дифференцированного центрифугирования.

Для изучения переваримости сухого вещества микро-рациона *insitu* в нейлоновые мешочки закладывали навеску набора кормов, по составу аналогичную рациону, получаемому животными. Процентная доля каждого корма в общей массе вещества рациона находилась по формуле:

$$A = \frac{m}{M} \times 100,$$

где A – процентная доля корма, %;

m – масса сухого вещества корма в суточной даче набора кормов, кг;

M – масса сухого вещества суточного рациона, кг.

С целью изучения естественной резистентности бычков брали кровь в вакуумные пробирки с добавлением 10-процентного раствора трилона Б.

Исследования были выполнены в условиях Испытательного центра ЦКП ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (аттестат аккредитации № RA.RU.21ПФ59 от 02.12.2015 г.)

Центрифуга MiniSpin (MerckKGaA, Германия), весы лабораторные электронные MB 210-A (ЗАО «Сартогосм», Россия), pH-метр pH-150МИ (ООО «Измерительная техника», Россия), Сушильный шкаф ШС-80-01 200 (ООО «ГостТестКомплектация», Россия).

Результаты, полученные в исследовании, обработаны методом вариационной статистики с использованием критерия достоверности по Стьюденту (t-критерий) с использованием пакета прикладных программ Statistica 10.0 (StatSoftInc, США).

Результаты (Results)

Из результатов эксперимента по изучению влияния наночастиц Fe в смеси с жировой добавкой «Палматрикс» в составе основного рациона в различных дозировках на переваримость сухого вещества методом *insitu* были получены следующие данные (рис. 1).

Бычки, получавшие в составе рациона «Палматрикс» + 425,6 мг наночастиц Fe, показали переваримость сухой части корма выше по сравнению с контролем, I и III опытными группами соответственно на 8,98 %, 5,75 % и 1,99 %.

Животные I и III опытных групп, получавшие совместно с основным рационом «Палматрикс» + наночастицы Fe в дозах соответственно 478,8 и 372,4 мг/гол, также отличались от контрольной группы лучшей переваримостью микро-рациона на 3,23 % и 6,94 %.

Результаты эксперимента показали, что применение наночастиц Fe совместно с жировой добавкой «Палматрикс» в различных дозировках в значительной степени оказывает положительное влияние на формирование и интенсивность биосинтетических процессов (рис. 2).

Как видно из рис. 2, снижение водородных показателей pH во II опытной группе произошло из-за повышения карбоновых кислот в рубцовой жидкости и составило 12,56 ммоль / 100мл, что выше аналогичного значения в контрольной группе на 13,45 %. Содержание ЛЖК в рубцовой жидкости бычков из I и III групп также было выше на 1,68 и 6,56 % по сравнению с контрольной группой. Через 3 часа после кормления концентрация аммиака в рубце бычков II группы была ниже на 3,21 %, чем в контроле.

У подопытных животных всех групп микрофлора рубцовой жидкости находилась в пределах физиологической нормы.

Количество бактерий и простейших в пробе рубцовой жидкости, взятых у животных II опытной группы, было выше на 0,141 г (23,1 %) и 0,025 г (10,2 %) (P ≤ 0,05) в сравнении с аналогами из других групп.

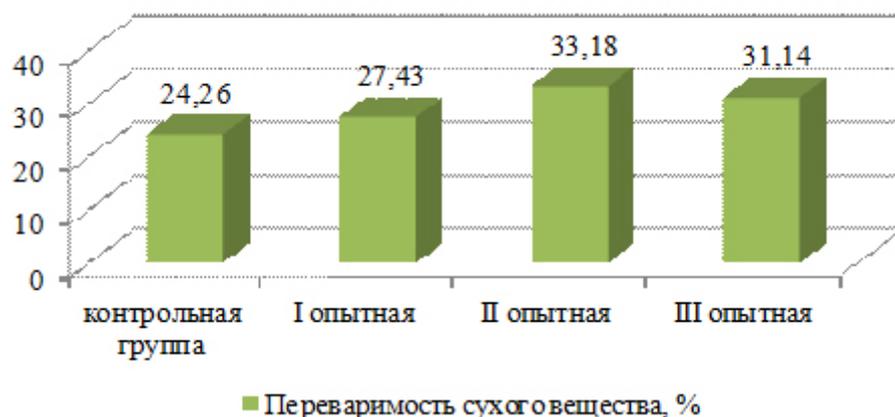


Рис. 1 Переваримость сухого вещества корма, %

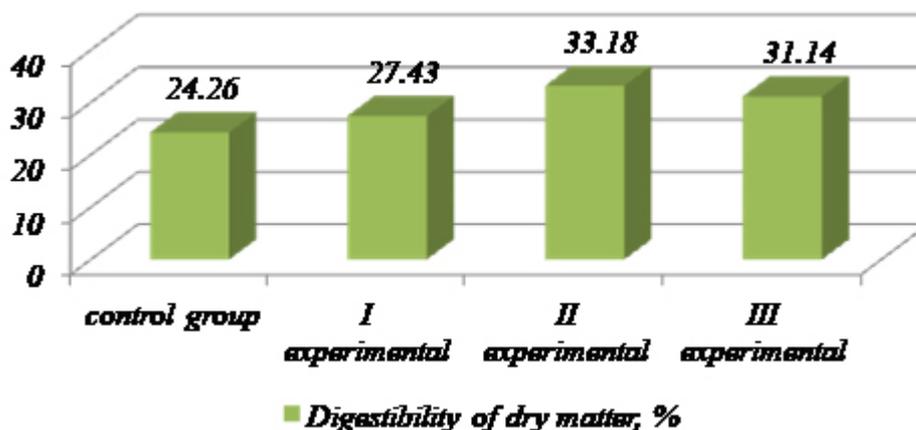


Fig. 1. Digestibility of dry matter of feed, %

Таблица 1
Биомасса микроорганизмов рубца бычков через 3 часа после кормления, г / 1,5 мл

Группа	Биомасса	
	Бактерии	Простейшие
Контрольная	0,141 ± 0,21	0,126 ± 0,18
I опытная	0,217 ± 0,19	0,137 ± 0,23
II опытная	0,282 ± 0,14	0,151 ± 0,16*
III опытная	0,253 ± 0,26	0,139 ± 0,24

Примечание: *P ≤ 0,05.

Наилучшее соотношение жирнокислотного состава наблюдалась во II опытной группе, получавшей в составе основного рациона обогащенную жировую добавку наночастицами железа в количестве 425,6 мг/гол.

Так, в рубцовой жидкости этой группы отмечалось более высокое содержание насыщенных жирных кислот: пальмитиновая – 73 %, стеариновая 14 %, которые не подвергаются биогидрогенизации микрофлорой рубца, не нарушают процессы пищеварения. Также установлено наличие ненасыщенных жирных кислот: олеиновой – 7 %, линолевой – 5 %.

По результатам исследования крови было установлено, что адаптационная приспособленность животных всех групп была на достаточно высоком уровне, а бактерицидные свойства сыворотки крови обусловлены не только антителами, но и содержанием в ней таких неспецифических иммунных белков как бета-лизины и лизоцим (таблица 2).

Table 1
The biomass of microorganisms rumen bulls 3 hours after feeding, g / 1.5 ml

Group	Biomass	
	Bacteria	Protozoa
Control	0.141 ± 0.21	0.126 ± 0.18
I experimental	0.217 ± 0.19	0.137 ± 0.23
II experimental	0.282 ± 0.14	0.151 ± 0.16*
III experimental	0.253 ± 0.26	0.139 ± 0.24

Note: *P ≤ 0.05.

По содержанию бета-лизина некоторое преимущество имели животные II опытной группы на 8,0; 9,5 и 7,6 %, а вот по показателю бактерицидной активности и лизоциму незначительно уступали аналогам из контрольной, I и III опытной групп, однако эти отличия были не достоверны. Это говорит о том, что, в отличие от гематологических показателей, показатели естественного иммунитета являются преимущественно породными признаками.

Полученные данные по влиянию наночастиц железа на естественный иммунитет подопытных бычков характеризуют то, что они отвечают уровню продуктивности животных и колебались в рамках физиологической нормы, а все отклонения его состава были спровоцированы напряжением физиологических функций в организме животных в связи с их ростом, развитием и влиянием внешней среды. Так, бычки II опытной группы имели преимущество над сверстниками контрольной, I и III групп. Таким образом, оптимальное количество наночастиц железа в смеси с жиросодержащей добавкой «Паламатрикс» на голову составило 425,6 мг.

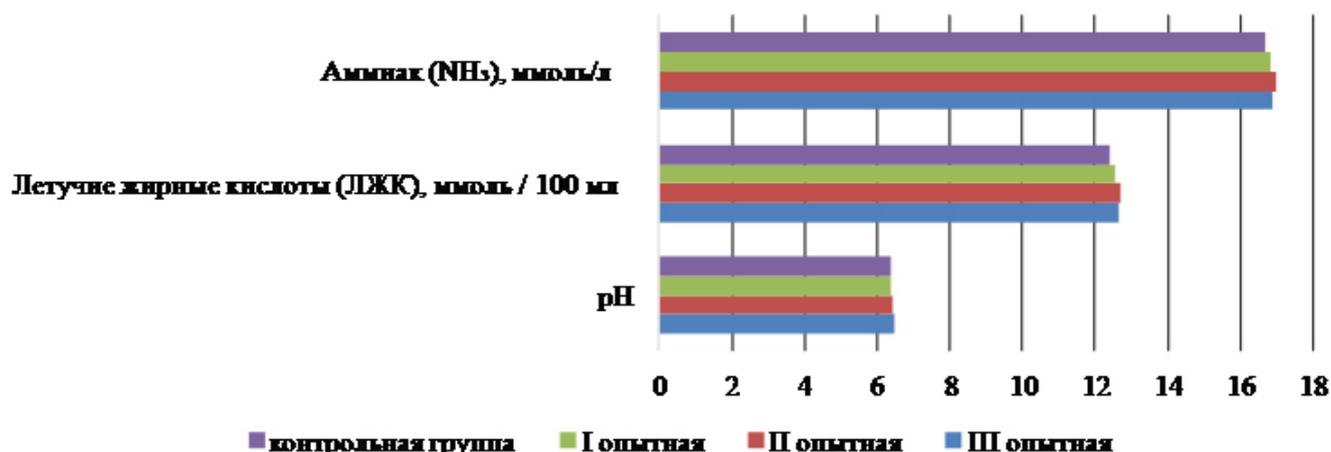


Рис. 2. Основные показатели микробной ферментации корма через 3 часа после кормления

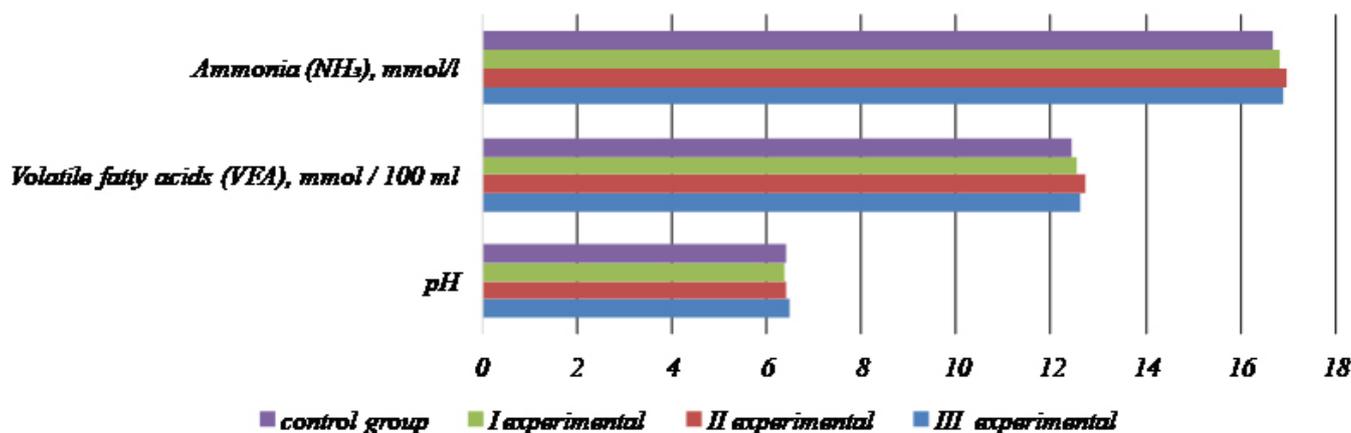


Fig. 2. Main indicators of microbial fermentation of feed 3 hours after feeding

Таблица 2

Показатели естественной резистентности у откармливаемых бычков

Показатель	Группа			
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Бактериальная активность (БАКСК), %	72,09 ± 0,62	71,83 ± 0,49	70,89 ± 0,56	71,46 ± 0,53
Бета-лизины, %	12,57 ± 0,43	12,39 ± 0,51	13,57 ± 0,38	12,61 ± 0,42
Лизоцим, мкг/мг	3,21 ± 0,57	3,18 ± 0,46	3,09 ± 0,52	3,15 ± 0,39

Table 2

Indicators of natural resistance in fattening gobies

Index	Group			
	Control	I experimental	II experimental	III experimental
Bacterial activity (BACC), %	72.09 ± 0.62	71.83 ± 0.49	70.89 ± 0.56	71.46 ± 0.53
Betalysines, %	12.57 ± 0.43	12.39 ± 0.51	13.57 ± 0.38	12.61 ± 0.42
Lysozyme, mcg/mg	3.21 ± 0.57	3.18 ± 0.46	3.09 ± 0.52	3.15 ± 0.39

Основные морфологический и биохимические показатели крови у молодняка всех групп в начале опыта были примерно одинаковые, что указывает на методически правильность подбора животных (рис. 3).

В процессе исследования установлено, что количество эритроцитов у молодняка I, II и III подопытных групп оказалось более высокими в сопоставлении с контролем на 4,7; 10,6 и 6,4 %, а насыщенность крови гемоглобином – на 3,1; 7,8 и 5,4 % соответственно. Различия по выше отмеченным показателям между молодняком I и II опытных групп оказались менее значительными.

Повышенное содержание в крови данных элементов способствовало более быстрому течению окислительно-восстановительных преобразований в теле молодняка подопытных групп и более интенсивному их росту.

Об умении животных преобразовывать протеин кормов в белки тела можно судить по количеству общего белка в сыворотке крови. Так, наиболее высокая концентрация общего белка в сыворотке крови отмечалась у животных II группы, получавших вместе с основным набором кормов 362,6 мг наночастиц железа. Они превосходили аналогов из контроля соответственно на 4,0, 1,7 и

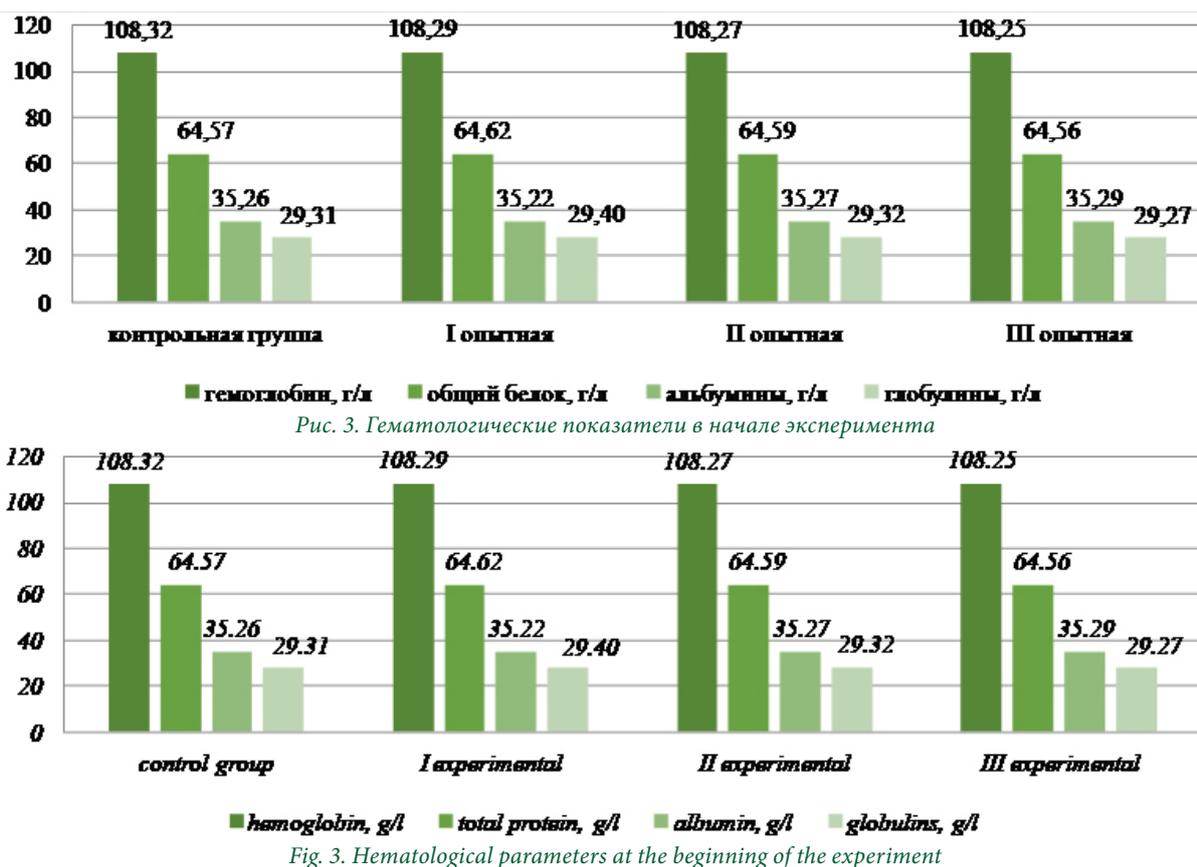


Рис. 3. Гематологические показатели в начале эксперимента

Fig. 3. Hematological parameters at the beginning of the experiment

1,2 %. Причем увеличение концентрации общего белка шло за счет почти равномерного повышения как альбуминов, так и глобулинов. В ходе исследования установлено, что наибольшее количество альбуминов находилось в сыворотке крови бычков I, II и III опытных групп, по данному показателю аналоги из контроля проигрывали им соответственно на 2,4, 5,8 и 3,9 %. По количеству глобулинов в сыворотке молодняк из контроля уступал бычкам из I, II и III опытных групп соответственно на 9,5, 10,9 и 6,7 %. Повышенное содержание глобулинов в сыворотке молодняка подопытных групп указывает на их лучшую иммунобиологическую активность. Глобулины, в свою очередь, делятся на три группы: α -, β - и γ -глобулины. Обычно с α - и β -глобулинами связывают продуктивные свойства, а с γ -глобулинами – защитные свойства организма. В проведенном нами эксперименте бычки, получавшие в составе рациона наночастицы железа в смеси в жиросодержащей добавкой «Паламатрикс», доминировали над аналогами из контрольной группы по количеству α -глобулинов на 12,4, 8,2 и 4,6 %, γ -глобулинов – на 12,2, 5,4 и 3,4 %.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Основная задача в кормлении крупного рогатого скота сводится к условиям, которые не нарушают совокупную работу и ферментативную активность микробиоты рубца, которая обеспечивает высокую активность по переработке питательных веществ [14, с. 8; 15, с. 138].

В нашем исследовании применение смеси наночастиц Fe и жировой добавки не ухудшает биосинтез в рубце, напротив отмечено незначительное повышение концентрации летучих жирных кислот (ЛЖК), которые являются одним из главных источников строительного материала в пищеварительном процессе у крупного рогатого скота.

Таким образом, скармливание жировой добавки «Паламатрикс» 400 г/сут в смеси с нано частицами Fe в количестве 425,6 мг в составе основного рациона балансирует рационы по железу, способствует улучшению микробиологическим процессам в рубце, повышая переваривание сухой части корма на 8,98 %.

Благодарности (Acknowledgements)

Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2018–2020 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0005).

Библиографический список

1. Дускаев Г. К., Левахин Г. И., Нуржанов Б. С. [и др.] Результаты исследований по переваримости *invitro* и *insitu* создаваемых кормовых добавок // Вестник мясного скотоводства. 2016. № 4 (96). С. 126–131.
2. Мирошников С. А., Левахин Ю. И., Нуржанов Б. С. [и др.] Эффективность производства продукции животноводства при использовании жиросодержащей добавки в составе рационов бычков, приготовленных по разной технологии // Вестник мясного скотоводства. 2014. № 4 (87). С. 79–82.
3. Сипайлова О. Ю., Мирошников С. А. Нейротоксический эффект наночастиц железа // Нанотехнологии в сельском хозяйстве: перспективы и риски: материалы международной научно-практической конференции. Оренбург, 2018. С. 249–253.

4. Al-Qushawi A., Rassouli A., Atyabi F., Peighambari S. M. [et al.] Preparation and Characterization of Three Tilimicosin-loaded Lipid Nanoparticles: Physicochemical Properties and in-vitro Antibacterial Activities // Iran. J. Pharm. Res. 2016 Fall. No. 15 (4). Pp. 663–676.
5. Troncarelli M. Z., Brandão H. M., Gern J. C., Guimarães A. S. [et al.] Nanotechnology and Antimicrobials in Veterinary Medicine // Microbial pathogens and strategies for combating them: science, technology and education. 2013. Vol. 1 Pp. 543–556.
6. Mody V. V., Siwale R., Singh A., Mody H. R. Introduction to metallic nanoparticles // J. Pharm. Bioallied Sci. 2010. No. 2. Pp. 282–289. DOI: 10.4103/0975-7406.72127.
7. Jampilek J., Kos J., Kralova K. Potential of Nanomaterial Applications in Dietary Supplements and Foods for Special Medical Purposes // Nanomaterials. 2019. No. 9 (2). P. 296.
8. Rao P. J., Naidu M. M. Nanoencapsulation of Bioactive Compounds for Nutraceutical Food // Sustainable Agriculture Reviews. 2016. Vol. 21. Pp. 129–156.
9. Oehlke K., Adamiuk M., Behnlian D., Graef V. [et al.] Potential bioavailability enhancement of bioactive compounds using food-grade engineered nanomaterials: A review of the existing evidence // Food Funct. 2014. No. 5. Pp. 1341–1359.
10. Bai Ding-Ping, Lin Xin-Yu, Huang Yi-Fan, Zhang Xi-Feng. Theranostics Aspects of Various Nanoparticles in Veterinary Medicine // Int. J. Mol. Sci. 2018. No. 19 (11). Pp. 294–305.
11. Hill E. K., Li J. Current and future prospects for nanotechnology in animal production // J. Anim. Sci. Biotechnol. 2017. No. 8. P. 26.
12. Millet S., Maertens L. The European ban on antibiotic growth promoters in animal feed: from challenges to opportunities // Vet J. 2011. No. 187 (2). Pp. 143–144.
13. Dantas F. G., Reese S. T., Oliveira Filho R. V., Carvalho R. S. [et al.] Effect of complexed trace minerals on cumulus-oocyte complex recovery and in vitro embryo production in beef cattle // Journal of Animal Science. 2019. No. 97 (4). Pp. 1478–1490.
14. Дускаев Г. К., Мирошников С. А., Сизова Е. А., Лебедев С. В. [и др.] Влияние тяжелых металлов на организм животных и окружающую среду обитания (обзор) // Вестник мясного скотоводства. 2014. № 3 (86). С. 7–11.
15. Bhushan B., Luo D., Schrick S. R., Sigmund W. [et al.] Handbook of Nanomaterials Properties. Springer; Berlin/Heidelberg, Germany: 2014. 889 p.

Об авторах:

Юрий Иванович Левахин¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, ORCID 0000-0003-2345-9298, AuthorID 366047

Баер Серекпаевич Нуржанов¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0003-3240-6112, AuthorID 605587; baer.nurzhanov@mail.ru

Виталий Александрович Рязанов¹, научный сотрудник, ORCID 0000-0003-0903-9561, AuthorID 746866

Ержан Брельевич Джуламанов¹, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, ORCID 0000-0002-1792-8097, AuthorID 969267; deb5690@mail.ru

¹ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

Changes in the microbiocenosis of the rumen and digestibility of the dry matter of the diet with the introduction of gobies together fatty addition of ultrafine iron particles

Yu. I. Levakhin¹, B. S. Nurzhanov¹✉, V. A. Ryazanov¹, E. B. Dzhulamanov¹

¹ Federal Research Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences

✉ E-mail: baer.nurzhanov@mail.ru

Abstract. The gastrointestinal tract of cattle is a large and complex biomechanism for processing substances coming from outside, with their further assimilation by the animal's body, to ensure normal life and productive growth. A special role is played by the rumen of cattle, in which the biosynthetic processes of the conversion of some chemicals and elements to others, under the action of enzymes of microorganisms, which have a responsible role in the processing of food components, as well as in a symbiotic relationship to each other. So, a disruption in the work of certain microorganisms under the influence of food factors leads to a disruption in the synthesis and work of the rest of the microbiota, which generally affects the state of the animal bioreactor as a whole. **The purpose** of the study was to establish the effect of various dosages of ultrafine particles of Fe in combination with a fat supplement, as part of rations on the digestibility of dry matter of the feed, basic indicators of scar content, such as microbial fermentation of the feed and biomass of microorganisms and fatty acid composition. **The scientific novelty** of the work lies in the fact that the effect of a complex of ultrafine particles of iron of different dosages c a fat supplement on the cicatricial digestion of bulls raised for meat was studied. **Methodology and methods.** To conduct research, 12 bulls were bred in the conditions of the Pokrovskiy agricultural college-branch of the Orenburg State Agrarian University of

the Orenburg region of the Orenburg region. Of these, four groups were selected according to the principle of analogues – control and three experimental, three animals in each, which, according to A. A. Aliyev were imposed scar fistulas. **Results and scope.** Thus, during the experiment it was found that the optimal dosage of iron nanoparticles mixed with a fat supplement in the diet was 425.6 mg per head per day, which contributes to better digestibility of dry matter by 8.98 % and a higher content of VFA in scar fluid by 2.28 % compared to c control.

Keywords: scar, microbiocenosis, fatty additive, iron, digestibility, dry matter.

For citation: Levakhin Yu. I., Nurzhanov B. S., Ryazanov V. A., Dzhulamanov E. B. Izmeneniya mikrobiotsenoza rubtsa, krovi i perevarimost' sukhogo veshchestva ratsiona pri vvedenii bychkam sovместно с zhirovoy dobavkoy ul'tradispersnykh chastits zheleza [Changes in the microbiocenosis of the rumen and digestibility of the dry matter of the diet with the introduction of gobies together fatty addition of ultrafine iron particles] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2019. No. 01 (192). Pp. ... DOI: 10.32417/1997-4868-2020-192-1-53-59. (In Russian.)

Paper submitted: 20.09.2019.

References

1. Duskayev G. K., Levakhin G. I., Nurzhanov B. S. [et al.] Rezul'taty issledovaniy po perevarimosti in vitro i in situ sozdavayemykh kormovykh dobavok [Results of researches on digestibility in vitro and in situ of developed feed additives] // Vestnik myasnogo skotovodstva. 2016. No. 4 (96). Pp. 126–131. (In Russian.)
2. Miroshnikov S. A., Levakhin Yu. I., Nurzhanov B. S. [et al.] Effektivnost' proizvodstva produktsii zhivotnovodstva pri ispol'zovanii zhirosoderzhashchey dobavki v sostave ratsionov bychkov, prigotovlennykh po raznoy tekhnologii [Efficiency of livestock production with the use of fat-containing additives in the composition of the calves rations prepared according to different technologies] // Vestnik myasnogo skotovodstva. 2014. No. 4 (87). Pp. 79–82. (In Russian.)
3. Sipaylova O. Yu., Miroshnikov S. A. Neyrotoksicheskiy effect nanochastits zheleza // Nanotekhnologii v sel'skom khozyaystve: perspektivy i riski [The iron nanoparticles neurotoxic. In the collection: Nanotechnologies in Agriculture: Prospects and Risks]: materials of the international scientific-practical conference. Orenburg, 2018. Pp. 249–253. (In Russian.)
4. Al-Qushawi A., Rassouli A., Atyabi F., Peighambari S. M. [et al.] Preparation and Characterization of Three Tilmicosin-loaded Lipid Nanoparticles: Physicochemical Properties and in-vitro Antibacterial Activities // Iran. J. Pharm. Res. 2016 Fall. No. 15 (4). Pp. 663–676.
5. Troncarelli M. Z., Brandão H. M., Gern J. C., Guimarães A. S. [et al.] Nanotechnology and Antimicrobials in Veterinary Medicine // Microbial pathogens and strategies for combating them: science, technology and education. 2013. Vol. 1. Pp. 543–556.
6. Mody V. V., Siwale R., Singh A., Mody H. R. Introduction to metallic nanoparticles // J. Pharm. Bioallied Sci. 2010. No. 2. Pp. 282–289. DOI: 10.4103/0975-7406.72127.
7. Jampilek J., Kos J., Kralova K. Potential of Nanomaterial Applications in Dietary Supplements and Foods for Special Medical Purposes // Nanomaterials. 2019. No. 9 (2). P. 296.
8. Rao P. J., Naidu M. M. Nanoencapsulation of Bioactive Compounds for Nutraceutical Food // Sustainable Agriculture Reviews. 2016. Vol. 21. Pp. 129–156.
9. Oehlke K., Adamiuk M., Behnlian D., Graef V. [et al.] Potential bioavailability enhancement of bioactive compounds using food-grade engineered nanomaterials: A review of the existing evidence // Food Funct. 2014. No. 5. Pp. 1341–1359.
10. Bai Ding-Ping, Lin Xin-Yu, Huang Yi-Fan, Zhang Xi-Feng. Theranostics Aspects of Various Nanoparticles in Veterinary Medicine // Int. J. Mol. Sci. 2018. No. 19 (11). Pp. 294–305.
11. Hill E. K., Li J. Current and future prospects for nanotechnology in animal production // J. Anim. Sci. Biotechnol. 2017. No. 8. P. 26.
12. Millet S., Maertens L. The European ban on antibiotic growth promoters in animal feed: from challenges to opportunities // Vet J. 2011. No. 187 (2). Pp. 143–144.
13. Dantas F. G., Reese S. T., Oliveira Filho R. V., Carvalho R. S. [et al.] Effect of complexed trace minerals on cumulus-oocyte complex recovery and in vitro embryo production in beef cattle // Journal of Animal Science. 2019. No. 97 (4). Pp. 1478–1490.
14. Duskayev G. K., Miroshnikov S. A., Sizova E. A., Lebedev S. V. [et al.] Vliyaniye tyazholykh metallov na organism zhiivotnykh i okruzhayushchuyu sredu obitaniya (obzor) [The influence of heavy metals on the animal organism and the environment (review)] // Vestnik myasnogo skotovodstva. 2014. No. 3 (86). Pp. 7–11. (In Russian.)
15. Bhushan B., Luo D., Schrick S. R., Sigmund W. [et al.] Handbook of Nanomaterials Properties. Springer; Berlin/Heidelberg, Germany: 2014. 889 p.

Authors' information:

Yuriy I. Levakhin¹, doctor of agricultural sciences, professor, chief researcher, ORCID 0000-0003-2345-9298, AuthorID 366047

Baer S. Nurzhanov¹, candidate of agricultural sciences, senior researcher, ORCID 0000-0003-3240-6112, AuthorID 605587; baer.nurzhanov@mail.ru

Vitaliy A. Ryazanov¹, researcher, ORCID 0000-0003-0903-9561, AuthorID 746866

Erzhan B. Dzhulamanov¹, candidate of agricultural sciences, researcher, ORCID 0000-0002-1792-8097, AuthorID 969267; deb5690@mail.ru

¹ Federal Research Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia