DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1013 **EDN: BTYGUO**
УДК 636.084.4;636.2

CC BY NC ND

Научная статья

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВАНИЛИНА И КВЕРЦЕТИНА НА СТЕПЕНЬ ПЕРЕВАРИМОСТИ КОРМА И МИКРОБИОМ РУБЦА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Л.В. Власенко, К.Н. Атландерова, Г.К. Дускаев

Аннотация

Обоснование. Существуют различные пути модуляции микробного разнообразия рубца жвачных животных, одним из которых является использование кормовых добавок. Включение в рацион фитохимических веществ приводит к изменению микробиома рубца и динамики ферментации в нем, что положительно сказывается на продуктивных качествах сельскохозяйственных животных.

Целью исследования явилась оценка воздействия ванилина и кверцетина на степень переваримости корма и микробиом рубца крупного рогатого скота.

Материалы и методы. Объект исследования: рубцовое содержимое бычков казахской белоголовой породы. Используемые фитохимические вещества: ванилин в концентрации $2{,}45\times10^{-4}$ моль/л (I опытный образец) и кверцетин в концентрации $4{,}90\times10^{-4}$ моль/л (II опытный образец). Эксперименты по оценке переваримости сухого вещества кормового субстата выполнены с использованием инкубатора Daisy D200I (Ankom Technology, США) *in vitro* (модель искусственного рубца). Секвенирование ДНК-библиотеки генов 16S-рРНК выполнено на платформе Illumina MiSeq (Illumina, США). Таксономический состав рубцовой жидкости определен на основе базы данных NCBI и Genome taxonomy database (GTDB).

Результаты. В ходе исследований установлено, что добавление ванилина и кверцетина приводит к увеличению переваримости кормового субстрата на 1,25% и 2,71% относительно контрольного образца. При изучении микробного разнообразия рубцовой жидкости крупного рогатого скота на уровне филума в контрольном образце определены 6 таксонов: *Actinomycetota, Bacillota, Bacteroidota, Fusobacteriota, Patescibacteriota и Pseudomonadota,*

при этом доминирующее положение занимали бактерии филума *Bacillota* (41,76%), *Pseudomonadota* (36,82%) и *Bacteroidota* (9,29%). После инкубирования рубцовой жидкости с малыми молекулами растительного происхождения зафиксировано значительное увеличение количества представителей филума *Bacillota* и уменьшение числа бактерий, относящихся к филуму *Bacteroidota* и *Pseudomonadota*. Структура бактериального сообщества во всех опытных образцах обогатилась представителями родов *Butyrivibrio* и *Pseudobutyrivibrio* (филум *Bacillota*, класс *Clostridia*, семейство *Lachnospiraceae*).

Заключение. Полученные результаты определяют основу для составления рационов для крупного рогатого скота с включением ванилина и кверцетина, способствующих улучшению переваримости сухого вещества кормового субстрата и изменению микробного разнообразия рубца, что в совокупности может положительно отразиться на продуктивных качествах сельскохозяйственных животных.

Ключевые слова: крупный рогатый скот; рубец; кормление; ванилин; кверцетин; переваримость; микробиом

Для цитирования. Власенко Л.В., Атландерова К.Н., Дускаев Г.К. Оценка воздействия ванилина и кверцетина на степень переваримости корма и микробиом рубца крупного рогатого скота // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 52-65. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1013

Original article

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF VANILLIN AND QUERCETIN ON THE DEGREE OF FEED DIGESTABILITY AND THE RUMEN MICROBIOME OF CATTLE

L.V. Vlasenko, K.N. Atlanderova, G.K. Duskaev

Abstract

Background. There are various ways to modulate rumen microbial diversity of ruminants, one of which is the use of feed additives. The inclusion of phytochemicals in the diet leads to changes in the rumen microbiome and the dynamics of fermentation in it, which has a positive effect on the productive qualities of farm animals.

The goal of the study was to evaluate the effect of vanillin and quercetin on the degree of digestibility of feed and the microbiome of the rumen of cattle.

Materials and methods. Object of study: rumen contents of Kazakh white-headed bull calves. Phytochemicals used: vanillin at a concentration of $2{,}45\times10^{-4}$ mol/l (test sample I) and quercetin at a concentration of $4{,}90\times10^{-4}$ mol/l (test sample II). Experiments to assess the digestibility of dry matter of the feed substance were carried out using a Daisy D200I incubator (Ankom Technology, USA) *in vitro* (an artificial rumen model). Sequencing of the DNA library of 16S-rRNA genes was performed on the Illumina MiSeq platform (Illumina, USA). The taxonomic composition of rumen fluid was determined based on the NCBI database и Genome taxonomy database (GTDB).

Results. During the research, it was found that the addition of vanillin and quercetin leads to an increase in the digestibility of the feed substrate by 1,25% and 2,71% relative to the control sample. When studying the microbial diversity of cattle rumen fluid at the phylum level, 6 taxa were identified in the control sample: *Actinomycetota, Bacillota, Bacteroidota, Fusobacteriota, Patescibacteriota* and *Pseudomonadota*, while the dominant position was occupied by bacteria of the phylum *Bacillota* (41,76%), *Pseudomonadota* (36,82%) and *Bacteroidota* (9,29%). After incubation of rumen fluid with small molecules of plant origin, a significant increase in the number of representatives of the phylum *Bacillota* and a decrease in the number of bacteria belonging to the phylum *Bacteroidota* and *Pseudomonadota* were recorded. The structure of the bacterial community in all test samples was enriched with representatives of the genera *Butyrivibrio* and *Pseudobutyrivibrio* (phylum *Bacillota*, class *Clostridia*, family *Lachnospiraceae*).

Conclusion. The results obtained provide the basis for formulating diets for cattle with the inclusion of vanillin and quercetin, which help improve the digestibility of dry matter of the feed substrate and change the microbial diversity of the rumen, which together can have a positive effect on the productive qualities of farm animals.

Keywords: cattle; rumen; feeding; vanillin; quercetin; digestibility; microbiome

For citation. Vlasenko L.V., Atlanderova K.N., Duskaev G.K. Assessment of the Impact of Vanillin and Quercetin on the Degree of Feed Digestability and the Rumen Microbiome of Cattle. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture,* 2024, vol. 16, no. 6, pp. 52-65. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1013

Введение

Микробиом желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) жвачных животных занимает центральное место в определении их продуктивности и здоровья [12; 14]. Усвоение питательных веществ из растительного материала происходит в рубце – передней части желудка животных. Разработка тех-

нологий высокопроизводительного секвенирования обеспечила получение большого объема данных о составе и функциях микробиома рубца животных, в том числе крупного рогатого скота (КРС) [10; 16; 18; 19]. Микроорганизмы рубца КРС, обеспечивающие расщепление растительного материала (кормов), представлены простейшими, грибами, археями и в большей степени бактериями [14].

Возраст, пол, географического положение, генетика и эффективность кормления животных определяет состав и функции микробиома рубца [10; 14; 22]. В последние годы проводится множество исследований по возможности изменения микробного разнообразия рубца и улучшения продуктивных качеств животных посредством корректирования системы кормления [2; 23]. Долгое время главная роль в успешном развитии животноводства во всем мире принадлежала кормовым антибиотикам, использование которых в субтерапевтических дозах приводит к формированию антибиотикорезистентности микроорганизмов, что также представляет потенциальную угрозу для человека [11]. В настоящее время для подобных целей рассматриваются разные классы веществ: пробиотики, пребиотики, ферменты, органические кислоты, металлы и другие [7; 11]. При этом значительный интерес привлекают фитохимические вещества (малые молекулы растительного происхождения, вторичные метаболиты растений) [9; 15], которые являются наиболее перспективным объектом исследования взамен кормовым антибиотикам [11], и уже используются при разведении сельскохозяйственных животных [4; 9] и птицы [1]. Введение малых молекул растительного происхождения в рацион жвачных животных приводит к изменениям микробиома рубца [13], улучшению переваримости корма, увеличению среднесуточного привеса [3], а также снижению выбросов метана [6].

Перспективными соединениями в данной области являются ванилин и кверцетин, которые обладают *quorum sensing* ингибирующей активностью, проявляют низкий уровень токсичности [20] и при этом разрешены в качестве пищевых добавок. Поэтому изучение действия малых молекул растительного происхождения на экосистему рубца КРС представляется практически выгодным для разработки новых подходов к кормлению животных.

Целью исследования явилась оценка воздействия ванилина и кверцетина на степень переваримости корма и микробиом рубца крупного рогатого скота.

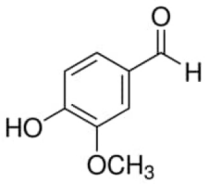
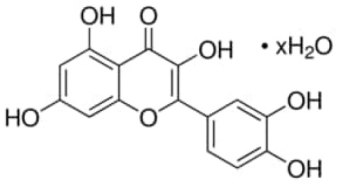
Материалы и методы исследования

Объект исследования. Рубцовое содержимое бычков казахской белоголовой породы.

Схема эксперимента. Используемые фитохимические вещества: ванилин ($C_8H_8O_3$; CAS 121-33-5) в концентрации $2{,}45\times10^{-4}$ моль/л (I опытный образец) и кверцетин ($C_{15}H_{10}O_7\times2H_2O$; CAS 6151-25-3) в концентрации $4{,}90\times10^{-4}$ моль/л (II опытный образец) (табл. 1), приобретенные в Acros Organics BVBA (Бельгия).

Таблица 1.

Общая характеристика малых молекул растительного происхождения

Наименование вещества	Химическая формула	Структурная формула	Молярная масса
Ванилин	$C_8H_8O_3$		152,15 г/моль
Кверцетин	$C_{15}H_{10}O_7\times2H_2O$		302,24 г/моль

Эксперименты по оценке переваримости сухого вещества кормового субстата выполнены с использованием инкубатора Daisy D200I (Ankom Technology, США) *in vitro* (модель искусственного рубца) в Центре коллективного пользования (ЦКП БСТ РАН) (https://ckp-rf.ru/ckp/77384/) научным оборудованием ФГБНУ «Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (ФНЦ БСТ РАН). Рубцовую жидкость отбирали через хроническую фистулу рубца, процеживали через стерильную марлю и вносили в камеру инкубатора с предварительно подготовленными исследуемыми веществами. После 48 часов инкубации образцы промывали и высушивали при температуре 60 °С до постоянной массы. В качестве модельного корма были использованы пшеничные отруби в натуральном виде (контрольный образец). Расчет

коэффициента переваримости сухого вещества кормового субстрата (x) проводили по формуле:

$$X = \frac{\left[m \times \left(\frac{100-m_2}{100}\right) - m_1\right] \times 100}{m\left(\frac{100-m_2}{100}\right)}, \quad (1)$$

где m – масса навески корма, мг; m_1 – масса высушенного непереваренного остатка кормового субстрата, мг; m_2 – массовая доля влаги в кормовом субстрате, %.

Приготовление ДНК-библиотек, секвенирование и биоинформатическая обработка выполнены в ЦКП «Персистенция микроорганизмов» Института клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН (Оренбург, Россия). Тотальную ДНК из образцов выделяли с использованием коммерческого набора FastDNA® SPIN Kit for Faeces (MP Biomedicals Inc., США) в соответствии с инструкциями изготовителя. Концентрацию ДНК измеряли на приборе Qubit 4 Fluorometer (Life Technologies, USA). ДНК-библиотеки генов 16S-рРНК приготовлены в соответствии с протоколом Illumina (Part #15044223, Rev. B.), а секвенирование выполнено на платформе Illumina MiSeq с набором реактивов MiSeq Reagent Kit v.2 (500-cycle) (Illumina, США). Биоинформатический анализ данных проведен с использованием программы USEARCH V.10.0.240. Таксономическая принадлежность на уровне филума, класса, порядка, семейства и рода определена на основе базы данных NCBI и Genome taxonomy database (GTDB).

Полученные результаты обработаны с использованием пакета компьютерных программ Microsoft Excel (Microsoft Corporation, США) и Statistica V8 (StatSoft Inc., США). Относительная численность бактерий, идентифицированных в образцах, была представлена в виде столбчатых диаграмм.

Результаты исследования

В ходе исследований установлено, что добавление ванилина и кверцетина приводит к изменению переваримости корма, значение которого в контрольном образце составило 61,32±0,87%. Переваримость сухого вещества кормового субстрата в I опытном образце увеличилась на 1,25%, а во II опытном образце на 2,71% относительно контрольного образца (рис. 1). Уровень pH при этом не изменялся.

При изучении микробного разнообразия рубцовой жидкости КРС на уровне филума в контрольном образце определены 6 таксонов: *Actinomycetota, Bacillota, Bacteroidota, Fusobacteriota, Patescibacteriota* и *Pseudomonadota*. При этом большую часть микробиома рубца состави-

ли представители филума *Bacillota* (41,76%), *Pseudomonadota* (36,82%) и *Bacteroidota* (9,29%). Филум *Actinomycetota* и *Fusobacteriota* были представлены меньшим количеством бактерий (1,88% и 6,04%, соответственно), а представители филума *Patescibacteriota* составили менее 1% (рис. 2).

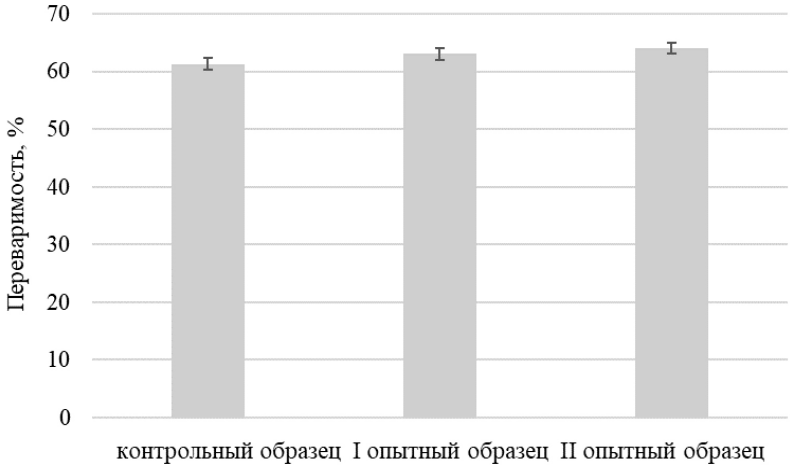


Рис. 1. Переваримость сухого вещества кормового субстрата *in vitro*

После инкубации рубцовой жидкости КРС с ванилином и кверцетином наблюдались общие признаки изменения микробиома рубца КРС и специфические – выявленные при использовании одного из веществ. В опытных образцах значительно увеличилось количество представителей филума *Bacillota* и снилось число бактерий, относящихся к филуму *Bacteroidota* и *Pseudomonadota* (рис. 2). Так, в I опытном образце количество бактерий филума *Bacillota* увеличилось в 1,94 раза (81,16% против 41,76% в контрольном образце, $p<0,001$) на фоне снижения представителей *Bacteroidota* в 10,96 раз (0,85% против 9,29% в контрольном образце, $p<0,05$) и *Pseudomonadota* в 4,12 раз (8,94% против 36,82% в контрольном образце, $p<0,001$).

Во II опытном образце наблюдали аналогичные результаты: увеличение количества бактерий филума *Bacillota* в 2,02 раза (84,40% против 41,76% в контрольном образце, $p<0,001$) и снижение количества представителей *Bacteroidota* в 13,62 раз (0,68% против 9,29% в контрольном образце, $p<0,05$) и *Pseudomonadota* в 5,94 раз (6,20% против 36,82% в контрольном образце, $p<0,01$).

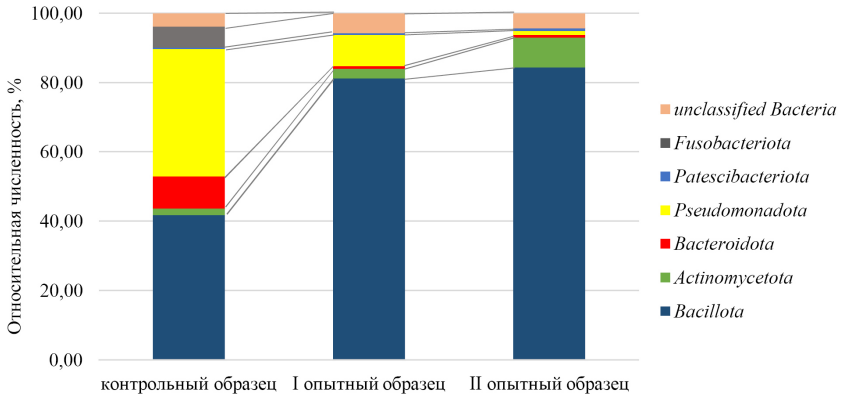


Рис. 2. Относительная численность бактериальных филумов в микробиоме рубца КРС

Сравнительный анализ родов бактерий показал значительное увеличение численности представителей рода *Butyrivibrio* и *Pseudobutyrivibrio* (особенно в I опытном образце), принадлежащих к семейству *Lachnospiraceae*, а также неклассифицированных представителей семейства *Lachnospiraceae* и *Oscillospiraceae* (филум *Bacillota*, класс *Clostridia*). На этом фоне наблюдалось уменьшение количества представителей рода *Cellulosilyticum*, *Anaerotignum*, *Tissierella* (филум *Bacillota*, класс *Clostridia*). Количество бактерий семейства *Bacteroidales* было равно количеству бактерий филума *Bacteroidota* и значительно снизилось во всех опытных образцах. Также при добавлении ванилина и кверцетина было зарегистрировано снижение количества представителей семейства *Fusobacteriaceae* (филум *Fusobacteriota*).

Обсуждение

Разработка эффективной альтернативы антибиотикам для поддержания здоровья сельскохозяйственных животных на фоне увеличения спроса на продукцию животноводства является одной из важнейших задач. Наиболее перспективными веществами в этом отношении выступают малые молекулы растительного происхождения [9; 11].

Целью данного исследования была оценка воздействия ванилина и кверцетина на степень переваримости корма и микробиом рубца крупного рогатого скота.

В ходе данного исследовании установлено, что добавление ванилина и кверцетина способствует улучшению переваримости сухого вещества

кормового субстрата. Полученные результаты согласуются с известными данными о действии фитохимических веществ на процесс ферментации в рубце животных, приводящее к повышению эффективности использования питательных составляющих рациона [5].

На основании данных секвенирования 16S-рРНК в рубцовой жидкости КРС на уровне филума в контрольном образце определены 6 таксонов: *Actinomycetota, Bacillota, Bacteroidota, Fusobacteriota, Patescibacteriota* и *Pseudomonadota*, что также согласуется с результатами проведенных ранее исследований [8; 19]. Основные представители данных филумов участвуют в переваривании углеводов: бактерии филума *Bacillota* обладают фибролитической и целлюлолитической активностью, а *Actinomycetota* и *Pseudomonadota* расщепляют целлюлозу и гемицеллюлозу [17].

Доминирующее положение в контрольном образце занимали представители филумов *Bacillota*, *Pseudomonadota* и *Bacteroidota*, в то время как инкубирование рубцовой жидкости с ванилином и кверцетином приводило к значительному уменьшению количества бактерий филума *Bacteroidota* и *Pseudomonadota*, а также увеличению численности бактерий филума *Bacillota* (особенно представителей класса *Clostridia*, включая род *Butyrivibrio* и *Pseudobutyrivibrio*). Установлено, что бактерии рода *Butyrivibrio* и *Pseudobutyrivibrio* (филум *Bacillota*, класс *Clostridia*, семейство *Lachnospiraceae*) участвуют в процессе деградации клетчатки и белков, биогидрирования липидов [21]. Полученные результаты согласуются с ранее опубликованными данными о влиянии танинов на микробиом КРС [11].

Заключение

Полученные результаты определяют применение малых молекул растительного происхождения (ванилина и кверцетина) в рационе КРС для улучшения системы кормления животных, обеспечивающей большую эффективность использования питательных составляющих рациона и изменение микробного разнообразия рубца (в частности, увеличения бактерий филума *Bacillota*), что в совокупности может положительно отразиться на продуктивных качествах сельскохозяйственных животных.

Заключение комитета по этике. Исследование было проведено в соответствии с Руководством по работе с лабораторными животными для сотрудников ФНЦ БСТ РАН (2018 г.). При проведении исследований были предприняты меры, сводящие страдания животных к минимуму.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-76-10008.

Список литературы / References

1. Дускаев Г.К., Власенко Л.В., Косян Д.Б., Курилкина М.Я. Влияние малых молекул растительного происхождения на микробное разнообразие слепого отдела кишечника цыплят-бройлеров // Птицеводство. 2023. № 4. С. 6-51. https://doi.org/10.33845/0033-3239-2023-72-4-46-51 (Duskaev G.K., Vlasenko L.V., Kosyan D.B., Kurilkina M.Ya. The effect of small molecules of plant origin on the cecal microbial diversity in broilers. *Ptitsevodstvo*, 2023, no. 4, pp. 46-51. https://doi.org/10.33845/0033-3239-2023-72-4-46-51)
2. Abecia L., Jiménez E., Martínez-Fernandez G., Martín-García A.I., Ramos-Morales E., Pinloche E., Denman S.E., Newbold C.J., Yáñez-Ruiz D.R. Natural and artificial feeding management before weaning promote different rumen microbial colonization but not differences in gene expression levels at the rumen epithelium of newborn goats. *PLOS One*, 2017, vol. 12, no. 8. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182235
3. Aguerre M.J., Capozzolo M.C., Lencioni P., Cabral C., Wattiaux M.A. Effect of quebracho-chestnut tannin extracts at 2 dietary crude protein levels on performance, rumen fermentation, and nitrogen partitioning in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 2016, vol. 99, no. 6, pp. 4476-4486. https://doi.org/10.3168/jds.2015-10745
4. Atlanderova K., Makaeva A., Miroshnikov S., Duskaev G. Change In The Taxonomic Composition Of Ruminal Microflora Against The Background Of Copper And Plant Extract. J*ournal of Animal Science*, 2021, vol. 99, no. S3, pp. 235-236. https://doi.org/10.1093/jas/skab235.430
5. Benchaar C., Calsamiglia S., Chaves A.V., Fraser G.R., Colombatto D., Mcallister T.A., Beauchemin K.A. A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Animal Feed Science and Technology*, 2008, vol. 145, no. 1-4, pp. 209-228. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.014
6. Bodas R., Prieto N., Garcia-Gonzalez R., Andres S., Giraldez F.J., Lopez S. Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2012, vol. 176, pp. 78-93. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.010
7. Calsamiglia S., Busquet M., Cardozo P., Castillejos L., Ferret A. Invited review: essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *J. Dairy Sci.*, 2007, vol. 90, pp. 2580-2595. https://doi.org/10.3168/jds.2006-644

8. Chuang S-T., Ho S-T., Tu P-W., Li K-Y., Kuo Y-L., Shiu J-S., Wang S-Y., Chen M-J. The Rumen Specific Bacteriome in Dry Dairy Cows and Its Possible Relationship with Phenotypes. *Animals (Basel)*, 2020, vol. 10, no. 10. https://doi.org/10.3390/ani10101791
9. Hassan F., Arshad M.A., Ebeid H.M., Rehman M.S., Khan M.S., Shahid S., Yang C. Phytogenic Additives Can Modulate Rumen Microbiome to Mediate Fermentation Kinetics and Methanogenesis Through Exploiting Diet–Microbe Interaction. *Front Vet Sci.*, 2020, vol. 7, pp. 575801. https://doi.org/10.3389/fvets.2020.575801
10. Henderson G., Cox F., Ganesh S., Jonker A., Young W., Global Rumen Census Collaborators, Janssen P.H. Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. *Sci Rep.*, 2015, vol. 5. https://doi.org/10.1038/srep14567
11. Lillehoj H., Liu Y, Calsamiglia S., Fernandez-Miyakawa M.E., Chi F., Cravens R.L., Oh S., Gay C.G. Phytochemicals as antibiotic alternatives to promote growth and enhance host health. *Vet Res.*, 2018, vol. 49, no. 1, pp. 76. https://doi.org/10.1186/s13567-018-0562-6
12. Malmuthuge N., Guan L.L. Understanding host-microbial interactions in rumen: searching the best opportunity for microbiota manipulation. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, **2017**, vol. 8. https://doi.org/10.1186/s40104-016-0135-3
13. Min Y.W., Rhee P-L. The role of microbiota on the gut immunology. *Clin. Ther.*, 2015, vol. 37, no. 5, pp. 968-975. tps://doi.org/10.1016/j.clinthera.2015.03.009
14. O'Hara E., Neves A.L.A., Song Y., Guan L.L. The Role of the Gut Microbiome in Cattle Production and Health: Driver or Passenger? *Annu Rev Anim Biosci.*, 2020, vol. 8, pp. 199-220. https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021419-083952
15. Ornaghi M., Prado R.M., Ramos T.R., Catalano F.R., Mottin C., Creevey C.J., Huws S.A., Prado I.N. Natural plant-based additives can improve ruminant performance by influencing the rumen microbiome. *Research square*, 2020. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-29748/v1
16. Ozbayram E.G., Ince O., Ince B., Harms H., Kleinsteuber S. Comparison of Rumen and Manure Microbiomes and Implications for the Inoculation of Anaerobic Digesters. *Microorganisms*, 2018, vol. 6, no. 1, pp. 15. https://doi.org/10.3390/microorganisms6010015
17. Patel D.D., Patel A.K., Parmar N.R. Shah M.T., Patel J.B., Pandya P.R., Joshi C.G. Microbial and carbohydrate active enzyme profile of buffalo rumen metagenome and their alteration in response to variation in the diet. *Gene*, 2014, vol. 545, pp. 88-94. https://doi.org/10.1016/j.gene.2014.05.003

18. Tong J., Zhang H., Yang D., Zhang Y., Xiong B., Jiang L. Illumina sequencing analysis of the ruminal microbiota in high-yield and low-yield lactating dairy cows. *PLoS One*, 2018, vol. 13, no. 11. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198225
19. Torres Manno M.A., Gizzi F.O., Martin M., Espariz M., Magni C., Blancato S.V. Metagenomic approach to infer rumen microbiome derived traits of cattle. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2023, vol. 39. https://doi.org/10.1007/s11274-023-03694-1
20. Vlasenko L., Atlanderova K. Assessment (*in vitro*) toxicity of small molecules of plant origin. *E3S Web of Conf. VIII International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-VIII 2023)*, 2023, vol. 390. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339007022
21. Wallace R.J., Chaudhary L.C., McKain N., McEwan N.R., Richardson A.J., Vercoe P.E., Walker N.D., Paillard D. *Clostridium proteoclasticum*: A ruminal bacterium that forms stearic acid from linoleic acid. *FEMS Microbiol. Lett.*, 2006, vol. 265, pp. 195-201. https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2006.00487.x
22. Xue M., Sun H., Wu X., Guan L.L., Liu J. Assessment of Rumen Microbiota from a Large Dairy Cattle Cohort Reveals the Pan and Core Bacteriomes Contributing to Varied Phenotypes. *Appl Environ Microbiol.*, 2018, vol. 84, no. 19. https://doi.org/10.1128/AEM.00970-18
23. Yáñez-Ruiz D.R., Abecia L., Newbold C.J. Manipulating rumen microbiome and fermentation through interventions during early life: a review. *Front. Microbiol.*, 2015, vol. 6, pp. 1133. https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01133

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Власенко Людмила Викторовна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории селекционно-генетических исследований в животноводстве

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий» Российской академии наук

ул. 9 января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская федерация

lv.efremova@yandex.ru

Атландерова Ксения Николаевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник испытательного центра

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий» Российской академии наук
ул. 9 января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская федерация
atlander-kn@mail.ru

Дускаев Галимжан Калиханович, доктор биологических наук, доцент, профессор РАН, ведущий научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий» Российской академии наук
ул. 9 января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская федерация
gduskaev@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Ludmila V. Vlasenko, Candidate of Biological Sciences, Researcher, Laboratory of Breeding and Genetic Research in Animal Husbandry
Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
lv.efremova@yandex.ru
SPIN-code: 2484-2215
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3790-2783
ResearcherID: F-2037-2015
Scopus Author ID: 55344908600

Kseniya N. Atlanderova, Candidate of Biological Sciences, Researcher, Testing Centre
Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
atlander-kn@mail.ru
SPIN-code: 9463-1130
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3977-4831
ResearcherID: AAD-1680-2021
Scopus Author ID: 55344908600

Galimzhan K. Duskaev, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor RAS, Leading Researcher, Department of Feeding for Farm Animals and Feed Technology named after S.G. Leushin
Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
gduskaev@mail.ru
SPIN-code: 7297-3319
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9015-8367
ResearcherID: N-4454-2014
Scopus Author ID: 56192764700

Поступила 28.03.2024 Received 28.03.2024
После рецензирования 15.05.2024 Revised 15.05.2024
Принята 23.05.2024 Accepted 23.05.2024