

ВЛИЯНИЕ ПРЕОБРАЗОВАННОЙ ЛУЗГИ ПОДСОЛНЕЧНИКА НА ФЕРМЕНТАТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В РУБЦЕ ЖВАЧНЫХ ЖИВОТНЫХ *IN VITRO*

Мирошников С.А., Дускаев Г.К., Шейда Е.В., (✉)Рязанов В.А.

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

(✉)e-mail: vita7456@yandex.ru

Изучены процессы ферментации в рубце жвачных при использовании лузги подсолнечника, подвергнутой ультразвуковой обработке, в сочетании с фитобиотиками. В ходе эксперимента определяли образование конечных метаболитов в рубцовой жидкости, а также образование метана. Объектом исследования являлась рубцовая жидкость, которая отобрана у бычков казахской белоголовой породы в возрасте 12 мес средней массой 230–235 кг. Хроническая фистула рубца ($n = 3$) была установлена по методике А.А. Алиева. Методом *in vitro* при помощи прибора «ANKOM Daisy II» (модификации D200 и D200I) по специализированной методике проинкубированы следующие образцы: контроль (образец № 1): лузга, подвергнутая механическому измельчению, + гидромодуль (вода) + обработка УЗ при 20 °С, 15 мин, 27 кГц; образец № 2: образец № 1 + гамма-окталактон (0,25 мл); образец № 3: образец № 1 + кверцетин (10,0 мг); образец № 4: образец № 1 + 7-гидроксикумарин (2,0 мг). Каждый эксперимент проведен в пяти повторностях. Определены переваримость сухого вещества, концентрация летучих жирных кислот, образование азотистых метаболитов и концентрация метана. Полученные данные статистически проанализированы с использованием программного обеспечения. Получены новые данные о влиянии лузги подсолнечника совместно с фитобиотиками на образование конечных метаболитов в рубцовой жидкости. Установлено, что добавление биологически активных веществ гамма-окталактона, кверцетина, 7-гидроксикумарина способствовало повышению переваримости сухого вещества относительно контроля на 2,0% ($p \leq 0,05$), 3,1 ($p \leq 0,01$) и 4,3% ($p \leq 0,05$) соответственно. Отмечено повышение концентрации летучих жирных кислот и азотистых фракций при использовании данных веществ. Уровень концентрации метана был ниже, чем в контроле, при использовании 7-гидроксикумарина в образце № 4 на 10% ($p \leq 0,01$).

Ключевые слова: лузга подсолнечника, кавитация, рубцовая жидкость, фитовещества

EFFECT OF TRANSFORMED SUNFLOWER HUSK ON ENZYMATIC PROCESSES IN THE RUMEN *IN VITRO*

Miroshnikov S.A., Duskaev G.K., Sheida E.V., (✉)Ryazanov V.A.

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies
of the Russian Academy of Sciences

Orenburg, Russia

(✉)e-mail: vita7456@yandex.ru

Fermentation processes in the rumen of ruminants when using sunflower husk subjected to ultrasound treatment in combination with phytobiotics were studied. During the experiment, the formation of terminal metabolites in the ruminal fluid as well as the formation of methane were determined. The object of the study was the rumen fluid, which was selected from bulls of Kazakh white-headed breed at the age of 12 months with the average weight of 230–235 kg. Chronic rumen fistula ($n = 3$) was identified according to the method of A.A. Aliev. The following samples were incubated by *in vitro* method using the ANKOM Daisy II device (modifications D200 and D200I) according to a specialized technique: control (sample N 1): Mechanically ground husk + hydromodulus (water) + ultrasound treatment at 20 °C, 15 min, 27 kHz; sample N 2: sample N 1 + gamma-octalactone (0.25 ml); sample N 3: sample N 1 + quercetin (10.0 mg); sample N 4: sample N 1 + 7-hydroxycoumarin (2.0 mg). Each experiment was conducted in five replications. The digestibility of dry matter,

concentration of volatile fatty acids, formation of nitrogenous metabolites and methane concentration were determined. The data obtained were statistically analyzed using software. New data were obtained on the effect of sunflower husk together with phytobiotics on the formation of final metabolites in the rumen fluid. The addition of biologically active substances of gamma-octalactone, quercetin, 7-hydroxycoumarin was found to increase the digestibility of dry matter relative to control by 2.0 ($p \leq 0.05$), 3.1 ($p \leq 0.01$) and 4.3% ($p \leq 0.05$), respectively. An increase in the concentration of volatile fatty acids and nitrogenous fractions was noted when using these substances. The level of methane concentration was 10% lower than that of the control with 7-hydroxycoumarin in sample N 4 ($p \leq 0.01$).

Keywords: sunflower husk, cavitation, rumen fluid, phytomaterials

Для цитирования: Мирошников С.А., Дускаев Г.К., Шейда Е.В., Рязанов В.А. Влияние преобразованной лузги подсолнечника на ферментативные процессы в рубце жвачных животных *in vitro* // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52. № 3. С. 71–78. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-3-8>. EDN UTDALT.

For citation: Miroshnikov S.A., Duskaev G.K., Sheida E.V., Ryazanov V.A. Effect of transformed sunflower husk on enzymatic processes in the rumen *in vitro*. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2022, vol. 52, no. 3, pp. 71–78. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-3-8>. EDN UTDALT.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, Проект № 20-16-00088.

Acknowledgements

This work was supported by the Russian Science Foundation, Project N 20-16-00088.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка технологических решений для преобразования вторичных сырьевых ресурсов, в частности лузги подсолнечника, для ее дальнейшего использования при выращивании и откорме крупного рогатого скота является перспективной темой. С расширением посевных площадей в 2021 г., по предварительным итогам посевной кампании, площади под подсолнечником в России достигли 9643,5 тыс. га¹, что приведет к увеличению вторичного продукта при переработке семян подсолнечника – лузги. Имеются различные способы использования лузги подсолнечника, например, ее можно использовать в качестве питательной среды [1]. Есть данные об использовании предварительно подготовленной подсолнечной лузги в качестве добавки в почву, что улучшает ее физические, химические и гидрологические свойства [2]. Не-

обработанную лузгу подсолнечника изучали, вводя в рацион свиней. Достоверно установлено, что содержание азота в рационе было самым высоким в группах свиней, которых кормили лузгой подсолнечника [3].

Использование лузги подсолнечника в качестве кормовой добавки в сельском хозяйстве было предложено в работе². Следует отметить специфичность самой лузги, которая на 40% состоит из лигноцеллюлозного волокна [4]. Наличие структурных углеводов в лузге свидетельствует о том, что она может быть использована в кормлении крупного рогатого скота, так как только микроорганизмы рубца этих животных способны их разрушить, за исключением лигнина. Его способны переработать грибы, населяющие рубец [5–7]. Предварительная кавитационная обработка подсолнечной лузги улучшает ее использование в виде корма³.

¹ФГБУ «Центр Агроаналитики» Минсельхоз России, Рынок масленичных. <https://mcx.gov.ru/analytics/> <https://specagro.ru/analytics/markets>.

²Антимонов С.В., Соловых С.Ю. Технология получения кормосмесей и добавок с применением нетрадиционного растительного сырья // Пищевые технологии: сб. тезисов докл. VIII Всерос. конф. молодых ученых с международным участием (Казань, 2007 г.). Казань: Издательство «Отечество», 2007. 222 с.

³Bykov A.V., Kvan O.V., Duskaev G.K. The influence of cavitation processing on biotechnological aspects of feed application // International Conference on World Technological Trends in Agribusiness: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. P. 121–192. DOI: 10.1088/1755-1315/624/1/012192.

При увеличении доли структурных углеводов в рационе крупного рогатого скота повышается нагрузка на всю пищеварительную систему, в большей степени – на рубец [8, 9]. Для поддержания его нормальной функции могут быть использованы специальные биологически активные вещества (малые молекулы)⁴. Ранее произведена оценка применения биологически активных веществ и влияния их на переваримость у животных и отмечен положительный эффект [10].

Поиск новых технологических решений по использованию лузги подсолнечника в сочетании с малыми молекулами для переработки отходов производства и дальнейшего скармливания жвачным животным представляет особый интерес.

Цель исследования – изучить процессы ферментации в рубце жвачных животных на модели *in vitro* с использованием биологически активных веществ и лузги подсолнечника.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объект исследования – рубцовая жидкость, отобранная у бычков казахской белоголовой породы с хронической фистулой рубца ($n = 3$), установленной по методике А.А. Алиева⁵, средней массой 230–235 кг в возрасте 12 мес. Исследования проводили методом латинского квадрата.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (Приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных») и «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals» (National Academy Press, Washington, D.C., 1996 г.). При проведении исследований предприняты меры, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшения количества исследованных опытных образцов.

Методом *in vitro* при помощи прибора «ANKOM Daisy II» (модификации D200 и D200I) по специализированной методике были проинкубированы следующие образцы (см. табл. 1).

Для изучения использовали Coumarin-IUPAC: 7-гидроксикумарин, молекулярная формула – $C_9H_6O_3$, молярная масса – 162,144 г/моль; CAS: 93-35-6, 1391-97-5; кверцетин дигидрат, 95+% AL33795-1, молекулярная формула – $C_{15}H_{10}O_7 \times 2H_2O$, молярная масса – 338,3 г/моль; CAS: 6151-25-3. Gamma-octalactone: молекулярная формула – $C_8H_{14}O_2$, молярная масса – 142,20 г/моль; CAS: 104-50-7.

Исследуемые вещества вносили непосредственно в рубцовую жидкость. Подсолнечную лузгу измельчали на лабораторной мельнице до диаметра частиц 1,0 мм. Далее подготовили гидромодуль продукта с водой. Параметры ультразвука выбраны в пределах 27 кГц, время обработки 15 мин. Температура кавитационной обработки целлюлозо-содержащих смесей составляла 20 °С. В качестве дисперсионной среды использована дистиллированная вода. Каждый эксперимент проведен в трех повторностях.

Табл. 1. Качественный состав образцов
Table 1. Qualitative composition of samples

№ образца	Качественный состав
1 (контроль)	Лузга: механическое измельчение + вода + обработка УЗ при 20 °С, 15 мин, 27 кГц
2	Лузга: механическое измельчение + вода + обработка УЗ при 20 °С, 15 мин, 27 кГц + гамма-окталактон 0,25 мл
3	Лузга: механическое измельчение + вода + обработка УЗ при 20 °С, 15 мин, 27 кГц + кверцетин 10,0 мг
4	Лузга: механическое измельчение + вода + обработка УЗ при 20 °С, 15 мин, 27 кГц + 7-гидроксикумарин 2,0 мг

⁴Karimov I., Kondrashova K., Duskaev G., Kvan O. Evaluation of effects of rumen fluid in combination with probiotic preparations and vanillin on the luminescence of a recombinant strain *E. coli* // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 143. P. 20–34. DOI: 10.1051/e3sconf/202014302034.

⁵Алиев А.А. Оперативные методы исследований сельскохозяйственных животных. Л.: Колос, 1974. 61 с.

Лабораторные исследования проводили в Испытательном центре ЦКП Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий РАН. Уровень летучих жирных кислот (ЛЖК) в содержимом рубца определяли методом газовой хроматографии на хроматографе газовом «Кристаллюкс-4000М», определение форм азота – по ГОСТ 26180–84.

После инкубирования производили отбор проб воздуха для определения уровня метана на приборе «Кристаллюкс-2000М» методом газовой хроматографии. Данные, полученные в результате этого исследования, статистически проанализированы с использованием программного обеспечения SPSS версии 21.0⁶.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследований изучен метаболит в рубцовой жидкости на основе испытаний лузги подсолнечника, подвергнутой ультразвуковой обработке, отдельно и в сочетании с биологическими активными веществами (см. табл. 1).

Показатели переваримости корма и ферментация в рубце являются основными при выборе его в рационах крупного рогатого скота. При проведении исследования установлено, что влияние ультразвукового воздействия на лузгу с дополнительным включением гамма-окталактона при инкубировании повышало переваримость сухого вещества на 2,0% ($p \leq 0,05$), при добавлении кверцетина – на 3,1 ($p \leq 0,01$), 7-гидроксикумарина – на 4,3% ($p \leq 0,05$) (см. табл. 2).

О качестве расщепления корма микроорганизмами рубца можно судить по уров-

Табл. 2. Переваримость сухого вещества лузги подсолнечника *in vitro*, %

Table 2. Dry matter digestibility of sunflower husk *in vitro*, %

№ образца	Переваримость
1 (контроль)	40,2 ± 0,11
2	42,2 ± 0,38*
3	43,3 ± 0,19**
4	44,3 ± 0,26*

* $p \leq 0,05$.

** $p \leq 0,01$.

ню образования летучих жирных кислот. Максимальное повышение установлено при введении 7-гидроксикумарина (образец № 4). Относительно контроля (образец № 1) концентрация уксусной кислоты в рубцовой жидкости повышалась более, чем на 99% ($p \leq 0,01$), пропионовой – на 98,6 ($p \leq 0,01$), масляной – на 96,4, валерьяновой – на 85,2 и капроновой – на 92% ($p \leq 0,05$) (см. табл. 3).

Во время ферментативных процессов жизнедеятельности микрофлоры в рубце образуется метан, вследствие этого происходит потеря энергии животным. При оценке лузги подсолнечника установлено, что дополнительное включение 7-гидроксикумарина в образец № 4 способствовало снижению образования уровня метана на 10% ($p \leq 0,001$) по сравнению с контролем. Добавление в образец № 2 гамма-окталактона и введение кверцетина в образец № 3 увеличило концентрацию метана по сравнению с контролем на 44 ($p \leq 0,05$) и 67,7% соответственно (см. табл. 4).

Метаболизм азота в рубце свидетельствует об активности микроорганизмов к спо-

Табл. 3. Концентрация летучих жирных кислот в рубцовой жидкости, моль/л

Table 3. Concentration of volatile fatty acids in the scar fluid, mol/l

№ образца	Летучие жирные кислоты				
	Уксусная	Пропионовая	Масляная	Валерьяновая	Капроновая
1 (контроль)	0,016 ± 0,002	0,013 ± 0,003	0,012 ± 0,001	0,009 ± 0,002	0,008 ± 0,001
2	2,66 ± 0,22	0,18 ± 0,21	0,09 ± 0,006*	0,04 ± 0,06*	0,007 ± 0,001
3	2,06 ± 0,14	0,16 ± 0,08*	0,09 ± 0,011	0,02 ± 0,04*	0,09 ± 0,01
4	5,9 ± 0,08**	0,95 ± 0,012**	0,31 ± 0,014	0,06 ± 0,11	0,1 ± 0,08*

* $p \leq 0,05$.

** $p \leq 0,01$.

⁶SPSS. (2012). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 21.0. Armonk, NY: IBM Corp.

Табл. 4. Концентрация метана (CH₄) в условиях *in vitro*, моль/л

Table 4. Concentration of methane(CH₄) under *in vitro* conditions, mol/l

№ образца	Концентрация метана
1	0,02 ± 0,002
2	0,036 ± 0,002*
3	0,062 ± 0,002*
4	0,018 ± 0,001***

* $p \leq 0,05$.

*** $p \leq 0,001$.

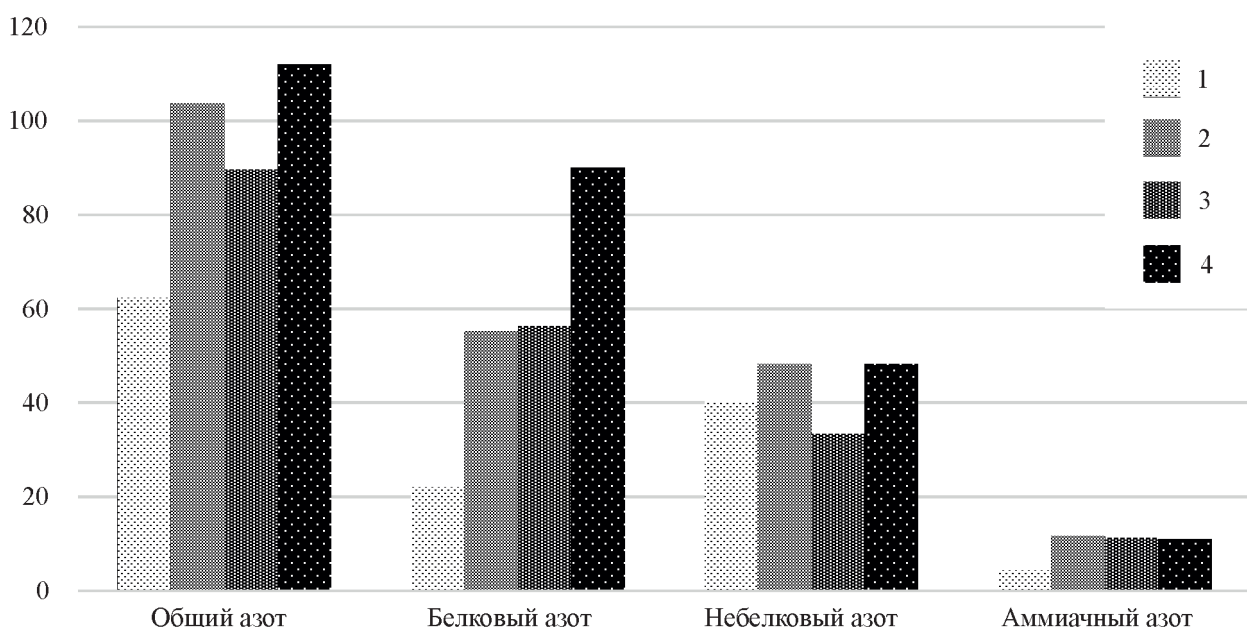
способности ферментации углеводов. Насколько они способны преобразовать корм, будет влиять на образование различных белковых фракций. В нашем исследовании включение 7-гидроксикумарина в сочетании с лузгой подсолнечника, подверженной ультразвуковому воздействию (образец № 4), способствовало увеличению общего азота на 44,4% ($p \leq 0,01$), белкового – на 75,6 ($p \leq 0,05$), аммиачного – на 58,8% ($p \leq 0,05$) относительно контроля. При добавлении гамма-окталактона в образец № 2 значения для азотистых фракций также были выше, чем в контроле, для общего азота на 39,8% ($p \leq 0,05$), белкового – на 60,2 ($p \leq 0,01$), небелковой формы азота – на 16,5%, аммиачной формы содержалось больше на 63,7% ($p \leq 0,05$). Концентрация аммиачного азота в образцах

№ 2–4 находилась приблизительно на одном уровне, в среднем разница составила 1,7% ($p \leq 0,05$) (см. рисунок).

Анализ литературы показывает, что ранее проведены аналогичные исследования по повышению ценности шелухи какао, одного из основных побочных продуктов процесса обжарки, с целью повышения эффективности извлечения соединений с высокой добавленной стоимостью с помощью ультразвука и гидродинамической кавитации. Данные методы позволяют получать ценные экстракты, которые богаты антиоксидантными флаванолами (катехинами и эпикатехинами), теобромном ($32,7 \pm 0,12$ мг/г скорлупы), кофеином ($1,76 \pm 0,08$ мг/г скорлупы) и маслом какао [11].

Кроме того, изучена возможность использования активированного ультразвука для очистки сена от бактериального загрязнения. Результаты показали, что воздействие на него ультразвука в течение 60 с способно удалить бактериальные загрязнения на 87,94% [12].

Результаты проведенных исследований на животных *in vitro* согласуются с данными, полученными другими авторами [13]. Так, экстракты растений способны решить проблемы с улучшением усвояемости, характеристик ферментации и сокращением выбросов парниковых газов для защиты окружающей среды. Листья *Azadirachta indica*, *Moringa*



Концентрация азотистых метаболитов в рубцовой жидкости, мг/%

Concentration of nitrogenous metabolites in the scar fluid, mg/%

oleifera, *Ocimum gratissimum* и специи (луковица *Allium sativum*), корневище *Zingiber officinale* использовали в качестве добавок в различных концентрациях (50, 100 и 150 мкл) к кукурузному субстрату для производства биогаза *in vitro*. Растения оказали выраженное смягчающее воздействие на давление и объем произведенного биогаза.

Экстракты трав и специй в качестве кормовых добавок снижают образование метана в рубце и улучшают характеристики ферментации у западноафриканских карликовых овец [14]. Замена зерна кукурузы шелухой сои (сельскохозяйственные остатки) в присутствии экстракта *M. oleifera* может уменьшить выбросы парниковых газов и улучшить пищеварение в исследовании на бычках буйволов [15].

В эксперименте на мясном скоте, выращиваемым на откормочных площадках Испании [16], шесть эфирных масел (чайного дерева – TetR, орегано – Ore, бутонов гвоздики – Clo, тимьяна – Thy, розмарина – Ros и шалфея – Sag) в эксперименте 1 и различные комбинации выбранных масел в эксперименте 2 оценивали в четырех дозах в системе микробиологической ферментации *in vitro* с использованием рубцовой жидкости мясного скота, полученного в рационе солома : концентрат (10 : 90). В эксперименте 1 TetR, Ore, Clo и Thy улучшили профиль ферментации рубца в направлении, соответствующем лучшему использованию корма. В эксперименте 2 TetR, смешанный с Thy, Ore, Thy + Ore или Clo при 200 и 400 мг/л, увеличивал молярную долю пропионата и уменьшал молярную долю ацетата, а также отношение ацетата к пропионату.

Полученные эффекты в описанных выше работах согласуются с результатами наших исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка вторичных продуктов масленичных культур, в частности лузги подсолнечника, в качестве корма для крупного рогатого скота показала, что предварительная ее обработка ультразвуком в сочетании с биологическими активными веществами (гамма-окталактон, кверцетин, 7-гидроксикумарин)

повышает переваримость сухого вещества от 2,0 ($p \leq 0,05$) до 4,3% ($p \leq 0,05$) в сравнении с контролем, а также увеличивает образование летучих жирных кислот и азотистых фракций в рубцовом содержимом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vlasenko E., Kuznetsova O. The influence of complex additives on the synthesis of aroma substances by gray oyster culinary-medicinal mushroom, *Pleurotus ostreatus* (Agaricomycetes) during the substrate cultivation // International Journal of Medicinal Mushrooms. 2020. Vol. 22 (3). P. 305–311. DOI: 10.1615/IntJMedMushrooms.2020033977.
2. Gluba Ł., Rafalska-Przysucha A., Szwczak K., Łukowski M., Szlqzak R., Vitková J., Kobylecki R., Bis Z., Wichliński M., Zarzycki R., Andrzej K., Usowicz B. Effect of fine size-fractionated sunflower husk biochar on water retention properties of arable sandy soil // Materials (Basel). 2021. Vol. 14 (6). P. 1335–1350. DOI: 10.3390/ma14061335.
3. Mpendulo T., Chimonyo M., Ndou P.S., Bakare A.G. Fiber source and inclusion level affects characteristics of excreta from growing pigs // Asian-Australasian Journal of Animal Science. 2018. Vol. 31 (5). P. 755–762. DOI: 10.5713/ajas.14.0611.
4. Geneau-Sbartai C., Leyris J., Françoise S., Rigal L. Sunflower cake as a natural composite: composition and plastic properties // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2008. Vol. 56 (23). P. 11198–11208. DOI: 10.1021/jf8011536.
5. Yausheva E., Kosyan D., Duskaev G., Kvan O., Rakhmatullin S. Evaluation of the impact of plant extracts in different concentrations on the ecosystem of broilers' intestine // Biointerface Research in Applied Chemistry. 2019. Vol. 9 (4). P. 4168–4171. DOI: 10.33263/BRIAC94.168171.
6. Wu D., Vinitchaikul P., Deng M., Zhang G., Sun L., Gou X., Mao H., Yang S. Host and altitude factors affect rumen bacteria in cattle // Brazilian Journal of Microbiology. 2020. Vol. 51 (4). pp. 1573–1583. DOI: 10.1007/s42770-020-00380-4.
7. Khatoon M., Patel S.H., Pandit R.J., Jakhesara S.J., Rank D.N., Joshi C.G., Kunjadiya A.P. Rumen and fecal microbial profiles in cattle fed high lignin diets using metagenome analysis // Anaerobe. 2022. Vol. 73. P. 102508–102518. DOI: 10.1016/j.anaerobe.2021.102508.
8. Xu Q., Zhong H., Zhou J., Wu Y., Ma Z., Yang L., Wang Z., Ling C., Li X. Lignin degradation by

- water buffalo // *Tropical Animal Health and Production*. 2021. Vol. 53 (3). P. 344–352. DOI: 10.1007/s11250-021-02787-z.
9. Raffrenato E., Fievisohn R., Cotanch K.W., Grant R.J., Chase L.E., Van Amburgh M.E. Effect of lignin linkages with other plant cell wall components on *in vitro* and *in vivo* neutral detergent fiber digestibility and rate of digestion of grass forages // *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100 (10). P. 8119–8131. DOI: 10.3168/jds.2016-12364.
10. Foskolos A., Ferret A., Siurana A., Castillejos L., Calsamiglia S. Effects of capsicum and propylpropane thiosulfonate on rumen fermentation, digestion, and milk production and composition in dairy cows // *Animals*. 2020. Vol. 10. P. 859 – 868. DOI: 10.3390/ani10050859.
11. Grillo G., Boffa L., Binello A., Mantegna S., Cravotto G., Chemat F., Dizhbite T., Lauberte L., Telysheva G. Cocoa bean shell waste valorisation; extraction from lab to pilot-scale cavitation reactors // *Food Research International*. 2019. Vol. 115. P. 200–208. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.08.057.
12. Chong W.Y., Cox C., Secker T.J., Keevil C.W., Leighton T.G. Improving livestock feed safety and infection prevention: Removal of bacterial contaminants from hay using cold water, bubbles and ultrasound // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021. Vol. 71. P.105372–105383. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2020.105372.
13. Faniyi T.O., Prates Ê.R., Adegbeye M.J., Adewumi M.K., Elghandour M.M.M.Y., Salem A.Z.M., Ritt L.A., Zubieta A.S., Stella L., Ticiani E., Jack A.A. Prediction of biogas and pressure from rumen fermentation using plant extracts to enhance biodigestibility and mitigate biogases // *Environmental Science*. 2019. Vol. 26 (26). P. 27043–27051. DOI: 10.1007/s11356-019-05585-1.
14. Faniyi T.O., Adewumi M.K., Jack A.A., Adegbeye M.J., Elghandour M.M.M.Y., Barbabosa-Pliego A., Salem A.Z.M. Extracts of herbs and spices as feed additives mitigate ruminal methane production and improve fermentation characteristics in West African Dwarf sheep // *Tropical Animal Health and Production*. 2021. Vol. 53 (2). P. 312–320. DOI: 10.1007/s11250-021-02751-x.
15. Parra-Garcia A., Elghandour M.M.M.Y., Greiner R., Barbabosa-Pliego A., Camacho-Diaz L.M., Salem A.Z.M. Effects of Moringa oleifera leaf extract on ruminal methane and carbon dioxide production and fermentation kinetics in a steer model // *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26 (15). P. 15333–15344. DOI: 10.1007/s11356-019-04963-z.
16. Fandiño I., Fernandez-Turren G., Ferret A., Moya D., Castillejos L., Calsamiglia S. Exploring additive, synergistic or antagonistic effects of natural plant extracts on *in vitro* beef feedlot-type rumen microbial fermentation conditions // *Animals (Basel)*. 2020. Vol. 10 (1). P. 17–28. DOI: 10.3390/ani10010173.

REFERENCES

1. Vlasenko E., Kuznetsova O. The influence of complex additives on the synthesis of aroma substances by gray oyster culinary-medicinal mushroom, *Pleurotus ostreatus* (Agaricomycetes) during the substrate cultivation. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2020, vol. 22 (3), pp. 305–311. DOI: 10.1615/IntJMedMushrooms.2020033977.
2. Gluba Ł., Rafalska-Przysucha A., Szewczak K., Łukowski M., Szlązak R., Vitková J., Kobyłecki R., Bis Z., Wichliński M., Zarzycki R., Andrzej K., Usowicz B. Effect of fine size-fractionated sunflower husk biochar on water retention properties of arable sandy soil. *Materials (Basel)*, 2021, vol. 14 (6), pp. 1335–1350. DOI: 10.3390/ma14061335.
3. Mpendulo T., Chimonyo M., Ndou P.S., Bakare A.G. Fiber source and inclusion level affects characteristics of excreta from growing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 2018, vol. 31 (5), pp. 755–762. DOI: 10.5713/ajas.14.0611.
4. Geneau-Sbartai C., Leyris J., Françoise S., Rigal L. Sunflower cake as a natural composite: composition and plastic properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, vol. 56 (23), pp. 11198–11208. DOI: 10.1021/jf8011536.
5. Yausheva E., Kosyan D., Duskaev G., Kvan O., Rakhmatullin S. Evaluation of the impact of plant extracts in different concentrations on the ecosystem of broilers' intestine. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 2019, vol. 9 (4), pp. 4168–4171. DOI: 10.33263/BRIAC94.168171.
6. Wu D., Vinitchaikul P., Deng M., Zhang G., Sun L., Gou X., Mao H., Yang S. Host and altitude factors affect rumen bacteria in cattle // *Brazilian Journal of Microbiology*, 2020, vol. 51 (4), pp. 1573–1583. DOI: 10.1007/s42770-020-00380-4.
7. Khatoon M., Patel S.H., Pandit R.J., Jakhesara S.J., Rank D.N., Joshi C.G., Kunjadiya A.P. Rumen and fecal microbial profiles in cattle fed high lignin diets using metagenome analysis. *An-*

- aerobe*, 2022, vol. 73, pp. 102508–102518. DOI: 10.1016/j.anaerobe.2021.102508.
8. Xu Q., Zhong H., Zhou J., Wu Y., Ma Z., Yang L., Wang Z., Ling C., Li X. Lignin degradation by water buffalo. *Tropical Animal Health and Production*, 2021, vol. 53 (3), pp. 344–352. DOI: 10.1007/s11250-021-02787-z.
 9. Raffrenato E., Fievisohn R., Cotanch K.W., Grant R.J., Chase L.E., Van Amburgh M.E. Effect of lignin linkages with other plant cell wall components on *in vitro* and *in vivo* neutral detergent fiber digestibility and rate of digestion of grass forages. *Journal of Dairy Science*, 2017, vol. 100 (10), pp. 8119–8131. DOI: 10.3168/jds.2016-12364.
 10. Foskolos A., Ferret A., Siurana A., Castillejos L., Calsamiglia S. Effects of capsicum and propylpropane thiosulfonate on rumen fermentation, digestion, and milk production and composition in dairy cows. *Animals*, 2020, vol. 10, pp. 859–868. DOI: 10.3390/ani10050859.
 11. Grillo G., Boffa L., Binello A., Mantegna S., Cravotto G., Chemat F., Dizhbite T., Lauberte L., Telysheva G. Cocoa bean shell waste valorisation; extraction from lab to pilot-scale cavitation reactors. *Food Research International*, 2019, vol. 115, pp. 200–208. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.08.057.
 12. Chong W.Y., Cox C., Secker T.J., Keevil C.W., Leighton T.G. Improving livestock feed safety and infection prevention: Removal of bacterial contaminants from hay using cold water, bubbles and ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021, vol. 71, pp. 105372–105383. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2020.105372.
 13. Faniyi T.O., Prates Ê.R., Adegbeye M.J., Adewumi M.K., Elghandour M.M.M.Y., Salem A.Z.M., Ritt L.A., Zubieta A.S., Stella L., Ticiani E., Jack A.A. Prediction of biogas and pressure from rumen fermentation using plant extracts to enhance biodigestibility and mitigate biogases. *Environmental Science*, 2019, vol. 26 (26), pp. 27043–27051. DOI: 10.1007/s11356-019-05585-1.
 14. Faniyi T.O., Adewumi M.K., Jack A.A., Adegbeye M.J., Elghandour M.M.M.Y., Barbabosa-Pliego A., Salem A.Z.M. Extracts of herbs and spices as feed additives mitigate ruminal methane production and improve fermentation characteristics in West African Dwarf sheep. *Tropical Animal Health and Production*, 2021, vol. 53 (2), pp. 312–320. DOI: 10.1007/s11250-021-02751-x.
 15. Parra-Garcia A., Elghandour M.M.M.Y., Greiner R., Barbabosa-Pliego A., Camacho-Diaz L.M., Salem A.Z.M. Effects of Moringa oleifera leaf extract on ruminal methane and carbon dioxide production and fermentation kinetics in a steer model. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, vol. 26 (15), pp. 15333–15344. DOI: 10.1007/s11356-019-04963-z.
 16. Fandiño I., Fernandez-Turren G., Ferret A., Moya D., Castillejos L., Calsamiglia S. Exploring additive, synergistic or antagonistic effects of natural plant extracts on *in vitro* beef feedlot-type rumen microbial fermentation conditions. *Animals* (Basel), 2020, vol. 10 (1), pp. 17–28. DOI: 10.3390/ani10010173.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мирошников С.А., член-корреспондент РАН, научный сотрудник

Дускаев Г.К., доктор биологических наук, заместитель директора, ведущий научный сотрудник

Шейда Е.В., научный сотрудник, кандидат биологических наук

✉ **Рязанов В.А.**, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 460000, Оренбург, ул. 9 января, д. 29, ФНИЦ биологических систем и агробiotехнологий; e-mail: vita7456@yandex.ru

AUTHOR INFORMATION

Sergey A. Miroshnikov, Corresponding Member RAS, Researcher

Galimzhan K. Duskaev, Doctor of Science in Biology, Deputy Director, Lead Researcher

Elena V. Sheida, Researcher, Candidate of Science in Biology

✉ **Vitaly A. Ryazanov**, Candidate of Sciences in Agriculture, Researcher; **address:** Federal Research Center for Biological Systems and Agrobiotechnology, 29, 9th January St., Orenburg, 460000, Russia; e-mail: vita7456@yandex.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 15.04.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 02.06.2022
Дата публикации / Published 25.07.2022