



<https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-5-7>

УДК: 636.085:577.17

Тип статьи: оригинальная

Type of article: original

ВОЗДЕЙСТВИЕ КАВИТИРОВАННОЙ ПОДСОЛНЕЧНОЙ ЛУЗГИ И МОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ ТАКСОНОМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ МИКРОБИОМА РУБЦА ЖВАЧНЫХ *IN VITRO*

Мирошников С.А., Дускаев Г.К., (✉)Атландерова К.Н., Матющенко Н.С.

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

(✉)e-mail: atlander-kn@mail.ru

Проведена оценка воздействия кавитированной подсолнечной лузги и молочной кислоты на изменение таксономического профиля микробиома рубца жвачных *in vitro*. Определено изменение бактериального состава рубцовой жидкости путем применения метода секвенирования на приборе MiSeq во временной экспозиции 6–24 ч. Объекты исследований – подсолнечная лузга измельченная (0,01 см) – контроль; кавитированная: лузга и вода в соотношении 1 : 3, обработанные ультразвуком; лузга и молочная кислота в соотношении 1 : 3 – лузга кавитированная + молочная кислота. Полученные образцы после высушивания при 105 °С использовали в исследованиях *in vitro* с рубцовой жидкостью на инкубаторе (аналог искусственного рубца). Отбор рубцовой жидкости у крупного рогатого скота осуществляли через хроническую фистулу. Возраст животных – 12 мес, порода – казахская белоголовая. Введение кавитированной лузги подсолнечника как отдельно, так и совместно с молочной кислотой, после 6 ч увеличивало количество бактерий, относящихся к классам *Flavobacteriia*, на 5,43 и 3,93%, *Elusimicrobia* – 3,77 и 3,98%, *Gammaproteobacteria* – 11,75 и 10,07%, и снижало численность бактерий класса *Bacteroidia* на 5,72 и 2,63%, *Clostridia* на 3,26 и 2,20% относительно контроля. Во временной экспозиции 12–24 ч, напротив, происходило увеличение бактерий класса *Bacteroidia* на 3,30–4,90 и на 8,29–11,28%, *Clostridia* – на 1,66–1,50 и на 2,74–3,27% по отношению к контролю.

Ключевые слова: кавитированная лузга подсолнечника, таксономический профиль, микробиом, молочная кислота

THE EFFECT OF CAVITATED SUNFLOWER HUSK AND LACTIC ACID ON THE CHANGES IN THE TAXONOMIC PROFILE OF THE RUMEN MICROBIOME OF RUMINANTS *IN VITRO*

Miroshnikov S.A., Duskaev G.K., (✉)Atlanderova K.N., Matyushchenko N.S.

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

(✉)e-mail: atlander-kn@mail.ru

The effect of cavitated sunflower husk and lactic acid on the changes in the taxonomic profile of the rumen microbiome of ruminants *in vitro* was evaluated. Changes in the bacterial composition of the cicatricial fluid were determined by using the MiSeq sequencing method in a time exposure of 6–24 h. The objects of research were sunflower husk milled (0.01 cm) - control; cavitated: husk and water in a ratio of 1 : 3, treated with ultrasound; husk and lactic acid in a ratio of 1 : 3 - cavitated husk + lactic acid. The obtained samples after drying at 105 °C were used in *in vitro* studies with rumen fluid on an incubator (analog of artificial rumen). Selection of the rumen fluid in cattle was carried out through a chronic fistula. The age of animals - 12 months, the breed - Kazakh white-headed. Administration of cavitated sunflower husks alone or together with lactic acid after 6 h increased the number of bacteria belonging to the *Flavobacteriia* class by 5.43 and 3.93%, *Elusimicrobia* by 3.77 and 3.98%, *Gam-*

maproteobacteria by 11.75 and 10.07% and decreased the number of *Bacteroidia* by 5.72 and 2.63%, *Clostridia* by 3.26 and 2.20% relative to the control. In contrast, in the 12-24 h exposure time, there was an increase in *Bacteroidia* class bacteria by 3.30-4.90 and 8.29-11.28%, *Clostridia* by 1.66-1.50 and 2.74-3.27% relative to the control.

Keywords: cavitated sunflower husk, taxonomic profile, microbiome, lactic acid

Для цитирования: Мирошников С.А., Дускаев Г.К., Атландерова К.Н., Матющенко Н.С. Воздействие кавитированной подсолнечной лузги и молочной кислоты на изменение таксономического профиля микробиома рубца жвачных *in vitro* // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 5. С. 54–61. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-5-7>

For citation: Miroshnikov S.A., Duskaev G.K., Atlanderova K.N., Matyushchenko N.S. The effect of cavitated sunflower husk and lactic acid on the changes in the taxonomic profile of the rumen microbiome of ruminants *in vitro*. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 5, pp. 54–61. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-5-7>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 20-16-00088).

Acknowledgements

The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project 20-16-00088).

ВВЕДЕНИЕ

Использование отходов пищевых производств в кормах для животных достаточно давно известно [1]. Высокий спрос на подсолнечное масло и другие смежные отрасли маслоэкстракционного производства привел к появлению большого количества отходов лузги подсолнечника [2]. Чаще всего ее используют в качестве источника белка, клетчатки и жирных кислот в кормлении животных, достигая модели экономики замкнутого цикла [3–5].

Чтобы раскрыть потенциал распада твердой фракции отходов для производства кормов с сохранением питательных веществ, обычно используют жидкие среды, активируемые различными способами в комплексе с ультразвуковым воздействием [6]. Ультразвуковая технология считается экологически чистой, полезной для сокращения химической нагрузки и времени реакции с эффективной конверсией. Данную технологию применяют в различных пищевых материалах для обработки, сохранения и повышения качества продукции [7]. При кавитации возрастает массовая доля сырого протеина и уменьшается массовая доля сырой клетчатки [8]. Такое соотношение протеина и клетчатки благоприятно сказывается на энергетическом

потенциале отхода, если рассматривать его в качестве кормовой добавки [9]. В то же время протеины лузги подсолнечника в значительной степени подвергаются распаду в рубце, что может вызвать нарушение азотного обмена [10]. Учеными выяснено, что использование кислот сокращает распад белка лузги в рубце и увеличивает его усвояемость в кишечнике [11].

Кислоты способствуют лучшему потреблению кормовых добавок жвачными животными за счет их вкусоароматических свойств [12]. Наряду с этим воздействие ультразвука и кислот изменяют структуру твердой фракции лузги, способствуя увеличению сцепления с поверхностью корма бактерий, т.е. адгезии [13, 14].

Цель исследования – изучить эффективность использования отходов лузги подсолнечника как альтернативного корма для животных, а также кормовой добавки, способствующей смещению бактериального зомоза в рубце жвачных животных в сторону более эффективных микробных путей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены в Федеральном научном центре биологических систем и агротехнологий Российской академии наук.

Объекты исследований:

- контрольная группа: подсолнечная лузга измельченная (0,01 см);
- 1-я опытная: лузга кавитированная, обработанная ультразвуком, и вода – 1 : 3 (лузга : вода);
- 2-я опытная: лузга кавитированная + молочная кислота – 1 : 3.

По химическому составу подсолнечная лузга до и после ультразвуковой обработки, а также в сочетании с молочной кислотой имела следующий состав (см. таблицу).

Полученные образцы после высушивания (105 °C) использовали в исследованиях *in vitro* с рубцовой жидкостью на инкубаторе Daisy D200I (аналог искусственного рубца) (Ankom Technology, США).

Отбор рубцовой жидкости у крупного рогатого скота осуществляли через хроническую фистулу. Возраст животных – 12 мес, порода – казахская белоголовая. При проведении исследований приняты меры для сведения к минимуму страданий животных и уменьшения количества используемых проб.

Таксономический состав содержимого рубца определяли методом NGS секвенирования на приборе MiSeq (Illumina, США). Геномная ДНК выделена с использованием метода химической экстракции. Концентрацию ДНК определяли с использованием флуорометра Qubit 2.0 с анализом высокой чувствительности dsDNA (Life Technologies). Библиотеки ДНК 16S подготовлены в соответствии с рабочим процессом Illumina с праймерами,

нацеленными на V3- и V4-области гена рPHK SSU, такого как прямой SD-Bact-0341-bS-17 и обратный SD-Bact-0785-aA-21.

Результаты, полученные в исследованиях, обработаны с помощью офисного программного комплекса Microsoft Office с применением программы Excel с обработкой данных в Statistica 10.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При инкубировании кавитированной лузги подсолнечника и кавитированной лузги совместно с молочной кислотой на модели «искусственный рубец» после 6 ч отмечено повышение представителей класса *Flavobacteriia* на 5,43 и 3,93%, *Elusimicrobia* – 3,77 и 3,98, *Gamma proteobacteria* – 11,75 и 10,07% и снижение численности бактерий класса *Bacteroidia* – на 5,72 и 2,63%, *Clostridia* – на 3,26 и 2,20% относительно контроля соответственно (см. рис. 1). Во временной экспозиции 12–24 ч, напротив, происходило увеличение бактерий класса *Bacteroidia* на 3,30–4,90 и на 8,29–11,28%, *Clostridia* на 1,66–1,50 и на 2,74–3,27% по отношению к контролю соответственно.

На уровне класса в группах преобладали бактерии, принадлежащие к филуму *Bacteroidetes*.

Таксономическое разнообразие микробиома рубца на уровне порядка определяет тенденцию во временном аспекте 6, 12 и 24 ч (см. рис. 2).

После 6 ч инкубирования в опытных группах (кавитированной лузги и кавитированной лузги с молочной кислотой) увеличивались представители порядка *Flavobacteriales* на 5,43 и 3,93% и *Elusimicrobiales* на 3,77 и 3,98% относительно контроля соответственно. Также данные группы показали численное снижение *Bacillales* – 0,11 и 0,21% и *Clostridiales* – 3,26 и 2,20% относительно контроля.

После 12 ч инкубирования наибольшее значение численности отмечено у порядков *Bacteroidales* на 3,30 и 4,90%, *Clostridiales* – 1,66 и 1,50% относительно контрольной группы. Происходило уменьшение порядков *Bacillales* на 0,37 и 0,40%, *Pseudomonadales* – 8,30 и 10,0% по сравнению с контролем.

Химический состав подсолнечной лузги, %
Chemical composition of sunflower husk, %

Массовая доля	Лузга		
	подсолнечная измельченная (контроль)	кавитированная	кавитированная + молочная кислота
Сырого жира	4,12	1,55	2,50
Сухого вещества	93,2	71,2	87,4
Сырого протеина	5,38	10,7	5,25
Сырой клетчатки	50,9	45,1	50,2
Сырой золы	2,40	2,00	3,20
Кальция	0,24	0,30	0,30
Фосфора	0,10	0,10	0,10
Сахара	1,90	1,40	0,70
Крахмала	3,80	2,20	1,10

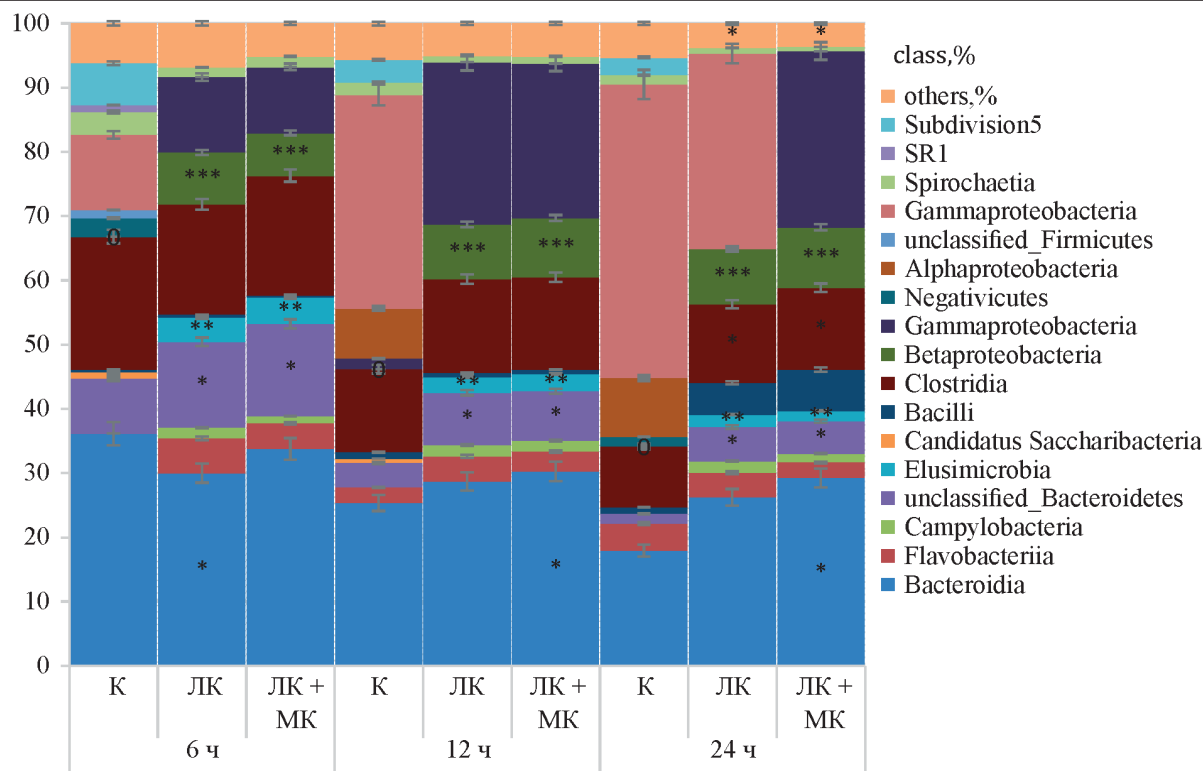


Рис. 1. Профиль бактериальной численности класса (6–24 ч) в рубцовой жидкости при включении в рацион кавитированной лузги подсолнечника отдельно и совместно с молочной кислотой, %

Fig. 1. The profile of the bacterial population of the class (in the time aspect of 6 - 24 hours) in the rumen fluid when cavitated sunflower husks are included in the diet, both separately and together with lactic acid, %

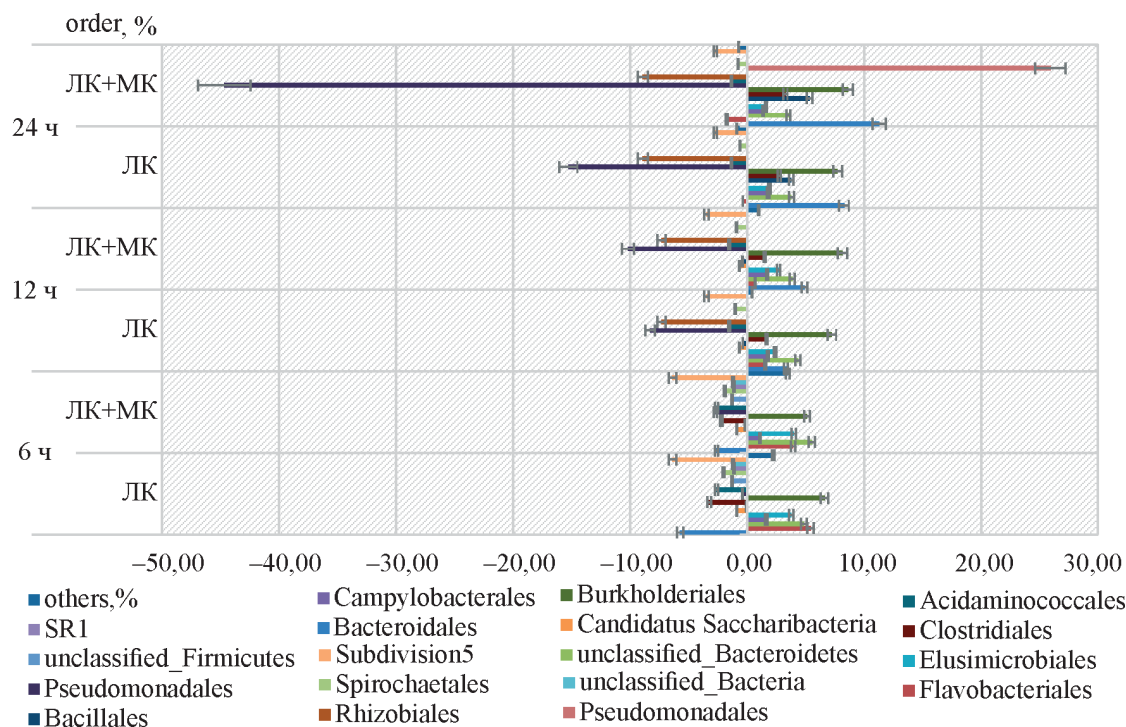


Рис. 2. Различия таксономического состава рубцовой жидкости при включении в рацион кавитированной лузги подсолнечника отдельно и совместно с молочной кислотой относительно контроля, %

Fig. 2. The difference in the taxonomic composition of the ruminal fluid when cavitated sunflower husks are included in the diet, both separately and together with lactic acid, relative to the control, %

После 24 ч инкубирования в опытных группах обнаружено увеличение численности порядка *Bacteroidales* на 8,29 и 11,3%, *Bacillales* на 3,79 и 5,34% относительно контрольной пробы.

Видовое разнообразие микробиоценоза рубцовой жидкости на протяжении всего эксперимента имело сходную тенденцию процентного соотношения бактерий опытных групп относительно контрольной (см. рис. 3).

Во временном интервале 6 ч инкубирования *in vitro* во всех группах превалировал вид *Prevotella*, но в опытных группах он был больше: на 2,65% (лузга кавитированная) и на 3,33% (лузга кавитированная + молочная кислота), в интервале 12 ч – на 3,07 и 2,66%, 24 ч – 3,14 и 3,0% соответственно по отношению к контролю. Это может быть связано с тем, что опытные добавки после воздействия ультразвука и молочной кислоты реконструируют бактериальную экосистему рубца, особенно разложение клетчатки и крахмала [15].

Введение опытных добавок способствовало снижению численности бактерий вида *Acinetobacter* в 1-й опытной группе от 1,28 (6 ч) до 18,06% (24 ч), во 2-й – от 3,37 (6 ч) до 19,67% (24 ч); *Butyrivibrio* в 1-й опытной группе – от 0,17 (6 ч) до 1,15% (24 ч), во 2-й опытной – от 0,16 (6 ч) до 1,01% (24 ч) по отношению к контролю.

Во временном интервале 6–12 ч во всех группах отсутствовал вид *Bacillus*, по прошествии 24 ч в опытных группах данный вид составлял от 0,5 до 1,5% от общего числа бактерий в пробе.

Выявлено, что при 6-часовой экспозиции количественное содержание бактерий *Clostridia* во 2-й опытной группе уменьшалось относительно контроля, после экспозиции 12–24 ч, напротив, происходило увеличение бактерий класса *Clostridia* на 2,74–3,27% по отношению к контролю. Вероятно, обработка кавитированной лузги молочной кислотой ведет к увеличению численности

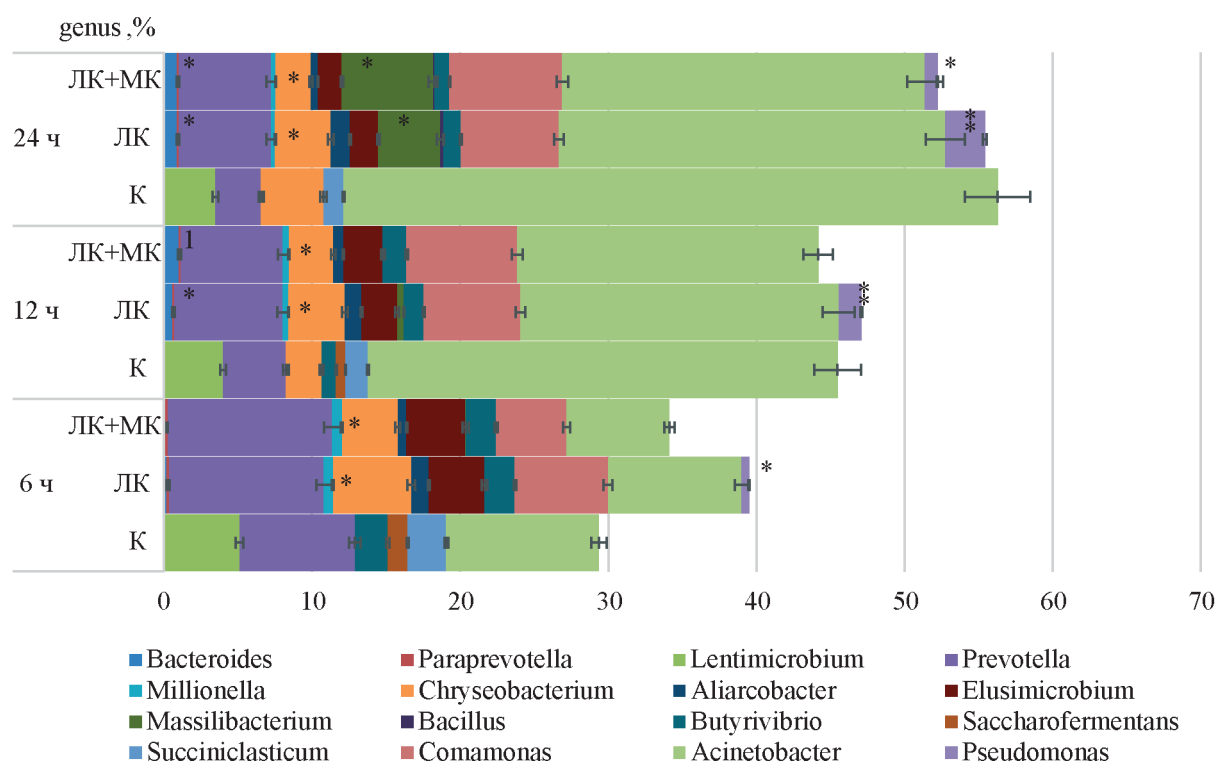


Рис. 3. Изменение бактериальной численности вида (6–24 ч) в рубцовой жидкости при включении в рацион кавитированной лузги подсолнечника отдельно и совместно с молочной кислотой, %

Fig. 3. Change in the bacterial abundance of the species (in the temporal aspect of 6 - 24 hours) in the rumen fluid when cavitated sunflower husks are included in the diet, both separately and together with lactic acid, %

лактатутилизирующих семейств в классе *Clostridia* по истечении 12–24 ч экспозиции [16]. Введение кавитированной лузги подсолнечника и кавитированной лузги совместно с молочной кислотой способствует увеличению разнообразия классов бактерий, принадлежащих к филуму *Bacteroidetes*. Ученые выяснили, что филум *Bacteroidetes* является одной из основных бактерий, участвующих в производстве короткоцепочечных жирных кислот [17], и более многочисленных в сообществах, связанных со слизистой оболочкой или адгезированных на поверхностях кормовых частиц [18].

Определяющим фактором лучшего продуктивного действия кормовых добавок на основе отходов маслоэкстракционного производства, активируемых различными способами, в комплексе с ультразвуковым воздействием на процесс пищеварения является меньшая бактериальная насыщенность рубца, что приводит к более простой метаболической цепочке. За счет этого происходит увеличение концентраций определенных ферментативных веществ, отвечающих за перерабатываемость питательных веществ [19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во временном интервале 6 ч инкубирования *in vitro* в опытных группах превалировал вид *Prevotella*: на 2,65% (лузга кавитированная) и на 3,33% (лузга кавитированная + молочная кислота) выше относительно контроля. Вероятно, это связано с тем, что опытные добавки после воздействия ультразвука и молочной кислоты реконструируют бактериальную экосистему рубца, особенно разложение клетчатки и крахмала. Инкубирование кавитированной лузги подсолнечника как отдельно, так и совместно с молочной кислотой, в рубцовой жидкости крупного рогатого скота влияет на таксономическое разнообразие бактерий с преобладанием принадлежащих к филуму *Bacteroidetes*, в частности, увеличивается количество представителей класса *Flavobacteriia*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lima J., Auffret M.D., Stewart R.D., Dewhurst R.J., Duthie C.A., Snelling T.J., Walker A.W., Freeman T.C., Watson M., Roehe R. Identification of ru-

men microbial genes involved in pathways linked to appetite, growth, and feed conversion efficiency in cattle // *Frontiers in Genetics*. 2019. Vol. 8. N 10. P. 701. DOI: 10.3389/fgene.2019.00701.

2. Zubiria I., Garcia-Rodriguez A., Atxaerandio R., Ruiz R., Benhissi H., Mandaluniz N., Lavín J.L., Abecia L., Goiri I. Effect of feeding cold-pressed sunflower cake on ruminal fermentation, lipid metabolism and bacterial community in dairy cows // *Animals (Basel)*. 2019. Vol. 9. N 10. P. 755. DOI: 10.3390/ani9100755.
3. Osman N.S., Sapawe N., Sapuan M.A.U., Fozzi M.F.M., Azman M.H.I.F., Fazry A.H.Z., Zainudin M.Z.H., Hanafi M.F. Sunflower shell waste as an alternative animal feed // *Materials Today: Proceedings*. 2018. Vol. 5. N 10. P. 21905–21910. DOI: 10.1016/j.matpr.2018.07.049.
4. Haro A., Gonzalez J., de Evan T., de la Fuente J., Carro M.D. Effects of feeding rumen-protected sunflower seed and meal protein on feed intake, diet digestibility, ruminal, cecal fermentation, and growth performance of lambs // *Animals (Basel)*. 2019. Vol. 9 (7). P. 415. DOI: 10.3390/ani9070415.
5. Javourez U., O'Donohue M., Hamelin L. Waste-to-nutrition: a review of current and emerging conversion pathways // *Biotechnology Advances*. 2021. Vol. 53. P. 107857. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2021.107857.
6. Saha S., Roy A. Whole grain rice fortification as a solution to micronutrient deficiency: Technologies and need for more viable alternatives // *Food Chemistry*. 2020. N 326. P. 127049. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127049.
7. Muslyumova D.M., Kurilkina M.Ya., Dускаев G.K., Zavyalov O.A. A method for increasing the productivity of meat gobies thanks to the use of cavitated sunflower oil sludge in the diet // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. P. 22055. DOI: 10.1088/1755-1315/839/2/022055.
8. Kamal H., Ali A., Manickam S., Le C.F. Impact of cavitation on the structure and functional quality of extracted protein from food sources – An overview // *Food Chemistry*. 2023. Vol. 1. N 407. P. 135071. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.135071.
9. Zubiria I., Garcia-Rodriguez A., Atxaerandio R., Ruiz R., Benhissi H., Mandaluniz N., Lavín J.L., Abecia L., Goiri I. Effect of feeding cold-pressed sunflower cake on ruminal fermentation, lipid metabolism and bacterial community in dairy cows // *Animals (Basel)*. 2019. Vol. 9. N 10. P. 755. DOI: 10.3390/ani9100755.
10. Alharthi A.S., Al-Baadani H.H., Al-Badwi M.A., Abdelrahman M.M., Alhidary I.A., Khan R.U.

- Effects of sunflower hulls on productive performance, digestibility indices and rumen morphology of growing Awassi lambs fed with total mixed rations // *Journal of Veterinary Science*. 2021. Vol. 8. N 9. P. 174. DOI: 10.3390/vetsci8090174.
11. Haro A., Carro M., Evan T., González J. Influence of feeding sunflower seed and meal protected against ruminal fermentation on ruminal fermentation, bacterial composition and *in situ* degradability in sheep // *Archives of Animal Nutrition*. 2020. Vol. 1. N 17. P. 74. DOI: 10.1080/1745039X.2020.1756679.
 12. Gerlach K., Daniel J.L.P., Jobim C.C., Nussio L.G. A data analysis on the effect of acetic acid on dry matter intake in dairy cattle // *Animal Feed Science and Technology*. 2021. Vol. 272. P. 114782. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114782.
 13. Zardo I., de Espindola Sobczyk A., Marczak L.D.F. Optimization of ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from sunflower seed cake using response surface methodology // *Waste and Biomass Valorization*. 2019. N 10. P. 33–44. DOI: 10.1007/s12649-017-0038-3.
 14. Cangiano L.R., Yohe T.T., Steele M.A., Renaud D.L. Invited Review: Strategic use of microbial-based probiotics and prebiotics in dairy calf rearing // *Applied Animal Science*. 2020. Vol. 36. Is. 5. P. 630–651. DOI: 10.15232/aas.2020-02049.
 15. Duskaev G.K., Karimov I.F., Levakhin G.I., Nurzhanov B.S., Rysaev A.F., Dusaeva K.B. Ecology of ruminal microorganisms under the influence of *Quercus cortex* extract // *International Journal of GEOMATE*. 2019. Vol. 16. N 55. P. 59–66.
 16. Yang Y., Dong G., Wang Z. Treatment of corn with lactic acid or hydrochloric acid modulates the rumen and plasma metabolic profiles as well as inflammatory responses in beef steers // *BMC Veterinary Research*. 2018. N 14. P. 408. DOI: 10.1186/s12917-018-1734-3.
 17. Nogal A., Valdes A.M., Menni C. The role of short-chain fatty acids in the interplay between gut microbiota and diet in cardio-metabolic health // *Journal of Gut Microbes*. 2021. Vol. 13. N 1. P. 1–24. DOI: 10.1080/19490976.2021.1897212.
 18. Pinnel L.J., Reyes A.A., Wolfe C.A., Weinroth M.D., Metcalf J.L., Delmore R.J., Belk K.E., Morley P.S., Engle T.E. Bacteroidetes and Firmicutes drive differing microbial diversity and community composition among micro-environments in the bovine rumen // *Frontiers in Veterinary Science, Animal Nutrition and Metabolism*. 2022. Vol. 9. DOI: 10.3389/fvets.2022.897996.
 19. Atlanderova K.N., Duskaev G.K., Bykov A.V. Optimization of sunflower husk utilization methods using various ultrasonic treatment methods // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 1076. P. 12041. DOI: 10.1088/1755-1315/1076/1/012041.

REFERENCES

1. Lima J., Auffret M.D., Stewart R.D., De-whurst R.J., Duthie C.A., Snelling T.J., Walker A.W., Freeman T.C., Watson M., Roehe R. Identification of rumen microbial genes involved in pathways linked to appetite, growth, and feed conversion efficiency in cattle. *Frontiers in Genetics*, 2019, vol. 8, no. 10, p. 701. DOI: 10.3389/fgene.2019.00701.
2. Zubiria I., Garcia-Rodriguez A., Atxaerandio R., Ruiz R., Benhissi H., Mandaluniz N., Lavín J.L., Abecia L., Goiri I. Effect of feeding cold-pressed sunflower cake on ruminal fermentation, lipid metabolism and bacterial community in dairy cows. *Animals (Basel)*, 2019, vol. 9, no. 10, p. 755. DOI: 10.3390/ani9100755.
3. Osman N.S., Sapawe N., Sapuan M.A.U., Fozzi M.F.M., Azman M.H.I.F., Fazry A.H.Z., Zainudin M.Z.H., Hanafi M.F. Sunflower shell waste as an alternative animal feed. *Materials Today: Proceedings*, 2018, vol. 5, no. 10. pp. 21905–21910. DOI: 10.1016/j.matpr.2018.07.049.
4. Haro A., Gonzalez J., de Evan T., de la Fuente J., Carro M.D. Effects of feeding rumen-protected sunflower seed and meal protein on feed intake, diet digestibility, ruminal, cecal fermentation, and growth performance of lambs. *Animals (Basel)*, 2019, vol. 9 (7), p. 415. DOI: 10.3390/ani9070415.
5. Javourez U., O'Donohue M., Hamelin L. Waste-to-nutrition: a review of current and emerging conversion pathways. *Biotechnology Advances*, 2021, vol. 53, p. 107857. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2021.107857.
6. Saha S., Roy A. Whole grain rice fortification as a solution to micronutrient deficiency: Technologies and need for more viable alternatives. *Food Chemistry*, 2020, no. 326, p. 127049. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127049.
7. Muslyumova D.M., Kurilkina M.Ya., Duskaev G.K., Zavyalov O.A. A method for increasing the productivity of meat gobies thanks to the use of cavitated sunflower oil sludge in the diet. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, p. 22055. DOI: 10.1088/1755-1315/839/2/022055.
8. Kamal H., Ali A., Manickam S., Le C.F. Impact of cavitation on the structure and functional quality of

- extracted protein from food sources – An overview. *Food Chemistry*, 2023, vol. 1, no. 407, p. 135071. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.135071.
9. Zubiria I., Garcia-Rodriguez A., Atxaerandio R., Ruiz R., Benhissi H., Mandaluniz N., Lavín J.L., Abecia L., Goiri I. Effect of feeding cold-pressed sunflower cake on ruminal fermentation, lipid metabolism and bacterial community in dairy cows. *Animals (Basel)*, 2019, vol. 9, no. 10, p. 755. DOI: 10.3390/ani9100755.
 10. Alharthi A.S., Al-Baadani H.H., Al-Badwi M.A., Abdelrahman M.M., Alhidary I.A., Khan R.U. Effects of sunflower hulls on productive performance, digestibility indices and rumen morphology of growing Awassi lambs fed with total mixed rations. *Journal of Veterinary Science*, 2021, vol. 8, no. 9, p. 174. DOI: 10.3390/vetsci8090174.
 11. Haro A., Carro M., Evan T., González J. Influence of feeding sunflower seed and meal protected against ruminal fermentation on ruminal fermentation, bacterial composition and in situ degradability in sheep. *Archives of Animal Nutrition*, 2020, vol. 1, no. 17, p. 74. DOI: 10.1080/1745039X.2020.1756679.
 12. Gerlach K., Daniel J.L.P., Jobim C.C., Nussio L.G. A data analysis on the effect of acetic acid on dry matter intake in dairy cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 2021, vol. 272, p. 114782. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114782.
 13. Zardo I., de Espindola Sobczyk A., Marczak L.D.F. Optimization of ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from sunflower seed cake using response surface methodology. *Waste and Biomass Valorization*, 2019, no. 10, p. 33–44. DOI: 10.1007/s12649-017-0038-3.
 14. Cangiano L.R., Yohe T.T., Steele M.A., Renaud D.L. Invited Review: Strategic use of microbial-based probiotics and prebiotics in dairy calf rearing. *Applied Animal Science*, 2020, vol. 36, is. 5, pp. 630–651. DOI: 10.15232/aas.2020-02049.
 15. Duskaev G.K., Karimov I.F., Levakhin G.I., Nurzhanov B.S., Rysaev A.F., Dusaeva K.B. Ecology of ruminal microorganisms under the influence of Quercus cortex extract. *International Journal of GEOMATE*, 2019, vol. 16, no. 55, pp. 59–66.
 16. Yang Y., Dong G., Wang Z. Treatment of corn with lactic acid or hydrochloric acid modulates the rumen and plasma metabolic profiles as well as inflammatory responses in beef steers. *BMC Veterinary Research*, 2018, no. 14, p. 408. DOI: 10.1186/s12917-018-1734-3.
 17. Nogal A., Valdes A.M., Menni C. The role of short-chain fatty acids in the interplay between gut microbiota and diet in cardio-metabolic health. *Journal of Gut Microbes*, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 1–24. DOI: 10.1080/19490976.2021.1897212.
 18. Pinnel L.J., Reyes A.A., Wolfe C.A., Weinroth M.D., Metcalf J.L., Delmore R.J., Belk K.E., Morley P.S., Engle T.E. Bacteroidetes and Firmicutes drive differing microbial diversity and community composition among micro-environments in the bovine rumen. *Frontiers in Veterinary Science, Animal Nutrition and Metabolism*, 2022, vol. 9. DOI: 10.3389/fvets.2022.897996.
 19. Atlanderova K.N., Duskaev G.K., Bykov A.V. Optimization of sunflower husk utilization methods using various ultrasonic treatment methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 1076, p. 12041. DOI: 10.1088/1755-1315/1076/1/012041.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мирошников С.А., доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, ведущий научный сотрудник

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

✉ **Атландерова К.Н.**, кандидат биологических наук, научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 460000, Оренбургская область, Оренбург, ул. 9 января, 29; e-mail: atlander-kn@mail.ru

Матющенко Н.С., аспирант

AUTHOR INFORMATION

Sergey A. Miroshnikov, Doctor of Science in Biology, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Researcher

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

✉ **Kseniya N. Atlanderova**, Candidate of Science in Biology, Researcher; **address:** 29, 9 Yanyarya St., Orenburg, Orenburg region, 460000, Russia; e-mail: atlander-kn@mail.ru

Natalya S. Matyushchenko, Post-graduate Student

Дата поступления статьи / Received by the editors 14.09.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 07.12.2022
Дата публикации / Published 20.06.2023