

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2022-365-12-20-25

К.Н. Атландерова, ✉
С.А. Мирошников,
В.А. Рязанов,
Г.К. Дускаев,
Е.В. Шейда

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

✉ atlaner-kn@mail.ru

Поступила в редакцию:
18.09.2022

Одобрена после рецензирования:
10.10.2022

Принята к публикации:
10.11.2022

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2022-365-12-20-25

Ksenia N. Atlanderova, ✉
Sergey A. Miroshnikov,
Vitaliy A. Ryazanov,
Galimzhan K. Duskaev,
Elena V. Sheida

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

✉ atlaner-kn@mail.ru

Received by the editorial office:
18.09.2022

Accepted in revised:
10.10.2022

Accepted for publication:
10.11.2022

Влияние лузги кавитированной на метаболом конечных продуктов ферментации, микробиом и физико-химические параметры рубца (*in vitro*)

РЕЗЮМЕ

Актуальность. На сегодняшний день значительное место в кормлении сельскохозяйственных животных отводится такому недорогому отходу маслоэкстракционной промышленности, как лузга подсолнечника. В связи с этим один из перспективных и современных методов оптимизации производства кормов может заключаться в использовании жидких сред, активируемых различными способами, в комплексе с ультразвуковым воздействием.

Методы. Объектом исследований являлась измельченная подсолнечная лузга (1,0 мм) (образец 1), а также лузга, обработанная ультразвуком (кавитированная) в гидромодулях с водой (в соотношении «лузга: вода» 1:3 (образец 2)), и с молочной кислотой «лузга: молочная кислота» 1:3 (образец 3)). Полученные образцы использовались в исследованиях *in vitro* с рубцовой жидкостью на инкубаторе «Daisy D200I» («Ankom Technology», США). Устанавливали следующие показатели обмена азотистых метаболитов в рубцовом содержимом – азот остаточный и общий методом Кьельдаля по методике К.К. Ахажанова (2016); аммиачный азот – микродиффузным методом по Конвею. Таксономический состав рубцовой жидкости определялся методом NGS-секвенирования на приборе «MiSeq» («Illumina», США).

Результаты. Анализ данных показал, что использование кавитированной лузги подсолнечника увеличивает переваримость сухого вещества на 19,0% ($P \leq 0,01$), а кавитированной совместно с молочной кислотой лузги – на 20,7% ($P \leq 0,01$) в сравнении с измельченной лузгой. При инкубировании кавитированной лузги подсолнечника и кавитированной совместно с молочной кислотой лузги отмечено снижение численности архей, в частности класса *Methanobacteria* на 23,73% и 20,36% ($P \leq 0,05$), и увеличение численности бактерий филумов *Bacteroidetes* на 10,2% и 11,27%, *Firmicutes* – на 4,66% и 6,86% относительно использования лузги измельченной.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, рубец, лузга кавитированная, молочная кислота, микробиом, переваримость, метаболом

Для цитирования: Атландерова К.Н., Мирошников С.А., Рязанов В.А., Дускаев Г.К., Шейда Е.В. Влияние лузги кавитированной на метаболом конечных продуктов ферментации, микробиом и физико-химические параметры рубца (*in vitro*). *Аграрная наука*. 2022; 365 (12): 20–25. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-365-12-20-25>

© Атландерова К.Н., Мирошников С.А., Рязанов В.А., Дускаев Г.К., Шейда Е.В.

Effect of cavitated husk on the metabolome of fermentation end products, microbiome and physicochemical parameters of the rumen (*in vitro*)

ABSTRACT

Relevance. Today, a significant place in the feeding of farm animals is given to such inexpensive waste from the oil extraction industry as sunflower husk. In this regard, one of the promising and modern methods for optimizing feed production can be the use of liquid media activated in various ways, in combination with ultrasonic treatment.

Materials and methods. The object of research was crushed sunflower husk (1.0 mm) (sample 1), as well as husk sonicated (cavitated) in hydromodules with water (in the ratio “husk: water” 1:3 (sample 2)), and with lactic acid (“husk: lactic acid” 1:3 (sample 3)). The obtained samples were used in *in vitro* studies with rumen fluid in the “Daisy D200I” incubator (“Ankom Technology”, USA). The following indicators of the exchange of nitrogenous metabolites in the cicatricial contents were determined – residual and total nitrogen by the Kjeldahl method according to the method of K.K. Akhazhanova (2016); ammonia nitrogen – by microdiffusion method according to Conway. The taxonomic composition of the scar fluid was determined by NGS-sequencing using the “MiSeq device” (“Illumina”, USA).

Research results. Data analysis showed that the use of cavitated sunflower husk increases the digestibility of dry matter by 19.0% ($P \leq 0.01$), and cavitated together with lactic acid husk – by 20.7% ($P \leq 0.01$) in comparison with crushed husk. When incubating cavitated sunflower husk and cavitated together with lactic acid sunflower husk, there were a decrease in the number of archaea, in particular the class *Methanobacteria*, by 23.73% and 20.36% ($P \leq 0.05$) and an increase in the number of bacteria of the phyla *Bacteroidetes* by 10.2% and 11.27%, *Firmicutes* – by 4.66% and 6.86% relative to the use of crushed husk.

Key words: cattle, rumen, cavitated husk, lactic acid, microbiome, digestibility, metabolome

For citation: Atlanderova K.N., Miroshnikov S.A., Ryazanov V.A., Duskaev G.K., Sheida E.V. Effect of cavitated husk on the metabolome of fermentation end products, microbiome and physicochemical parameters of the rumen (*in vitro*). *Agrarian science*. 2022; 365 (12): 20–25. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-365-12-20-25> (In Russian).

© Atlanderova K.N., Miroshnikov S.A., Ryazanov V.A., Duskaev G.K., Sheida E.V.

Введение / Introduction

В маслоэкстракционной промышленности остается некоторое количество отходов, которые могут использоваться в качестве источника белка, клетчатки и жирных кислот в кормлении жвачных животных, способствуя достижению модели экономики замкнутого цикла [1].

Существует большое количество исследований, подтверждающих высокую эффективность использования отходов этого производства в кормлении животных и птиц [2]. Доказано, что введение в рацион сельскохозяйственных животных кормовых добавок в виде побочных продуктов маслоэкстракционного производства положительно влияет на темпы их роста, переваримость и усвоение энергии и белка [3, 4].

Технология обработки побочных продуктов маслоэкстракционного производства чаще всего включает электрохимические методы и кавитационное воздействие [5] для улучшения питательных свойств [6] и повышения усвояемости кормового сырья [7]. В настоящее время значительное место в кормлении сельскохозяйственных животных отводится такому недорогому отходу маслоэкстракционной промышленности, как лузга подсолнечника [8]; это побочный продукт, получаемый после дробления семян [9]. Лузга подсолнечника содержит примерно от 5–7% сырого протеина, 3–10% жира и 43–56% кислотно-детергентной клетчатки, является эффективным источником пищевых волокон и может удовлетворить потребность в грубых кормах, положительно влияя на потребление корма и усвояемость клетчатки при использовании до 35% в рационе молочных коров и до 25% – в рационе лактирующих коров [10].

Белок подсолнечной лузги активно разлагается в рубце, что может приводить к нарушению обмена азота, а применение кислот (яблочной [11], молочной [12]) уменьшает расщепление белка лузги в рубце и повышает его усвояемости в кишечнике [13]. Также молочная кислота может применяться в кормах в качестве вкусоароматической добавки в количестве до 5 мг/кг комбикорма [14], что может способствовать лучшему потреблению кормовых добавок жвачными животными. Ввиду этого в последнее время все больше исследований ученых направлено на изучение кормовых добавок, способствующих сдвигу ферментации в рубце в сторону более результативных микробных показателей с целью создания естественной альтернативы иным способам улучшения систем производства жвачных животных [15–16].

Таким образом, целью настоящего исследования было проанализировать влияние подсолнечной лузги, кавитированной как отдельно, так и совместно с молочной кислотой, на метаболит конечных продуктов ферментации, газовой среды и физико-химические параметры рубца (в условиях *in vitro*).

Материал и методы / Materials and methods

Исследования выполнены в лаборатории ЦКП БСТ РАН (<http://цкп-бст.рф>). Объектом исследований являлась измельченная подсолнечная лузга (1,0 мм) (образец 1), а также лузга, обработанная ультразвуком (кавитированная) в гидромодулях с водой (в соотношении «лузга: вода» 1:3 (образец 2)) и с молочной кислотой «лузга: молочная кислота» 1:3 (образец 3)).

Полученные образцы после высушивания (103–110°C) далее

использовались в исследованиях *in vitro* (модель искусственного рубца) с рубцовой жидкостью на инкубаторе «Daisy D200I» («Ankom Technology», США). Забор рубцовой жидкости производился через хроническую fistулу рубца у крупного рогатого скота. При проведении исследований были приняты меры для сведения к минимуму страдания животных и уменьшения количества используемых проб. Устанавливали следующие показатели обмена азотистых метаболитов в рубцовом содержимом – азот остаточный и общий методом Кьельдаля по методике К.К. Ахажанова (2016); аммиачный азот – микродиффузным методом по Конвею. Таксономический состав содержимого рубца определялся методом NGS-секвенирования на приборе «MiSeq» («Illumina», США). Геномная ДНК была выделена с использованием метода химической экстракции. Концентрацию ДНК определяли с использованием флуорометра «Qubit 2.0» с анализом высокой чувствительности dsDNA («Life Technologies»).

Результаты, полученные в исследованиях, были обработаны с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) и обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В ходе исследований *in vitro* установлено, что использование кавитированной лузги (образец 2) увеличивает переваримость сухого вещества на 19,0% ($P \leq 0,01$) в сравнении с 1-м образцом. Наибольшее значение переваримости наблюдается в 3-м образце – 20,7% ($P \leq 0,01$) относительно 1-го (табл. 1).

Различная обработка подсолнечной лузги незначительно изменяет соотношение и концентрацию летучих жирных кислот в рубцовой жидкости: так, наблюдалось увеличение концентрации уксусной кислоты при применении 3-го образца в сравнении с 1-м, уровень валерьяновой кислоты был выше в 1-м образце.

Уровень общего азота (табл. 2) увеличивается в 3-м образце на 4,0–25,9% ($P \leq 0,05$) относительно 1-го и 2-го образцов. Схожая тенденция наблюдается в содержании белкового азота, наибольшее значение показателя было отмечено в 1-м и 3-м образцах – уве-

Таблица 1. Переваримость сухого вещества лузги подсолнечника *in vitro*, %

Table 1. Digestibility of dry matter of sunflower husk *in vitro*, %

№ образца	Переваримость
1	21,2±0,23
2	40,2±0,11*
3	41,9±0,83**

Примечание: * – $P \leq 0,01$; ** – $P \leq 0,001$

Таблица 2. Содержание общего азота в опытных образцах, мг/%

Table 2. Nitrogen content in the sample, mg/%

№ образца	Форма азота				
	общий	белковый	небелковый	мочевинный	аммиачный
1	84,7±0,06	44,1±0,56	40,61±0,04	3,80±0,070	3,90±0,05
2	62,3±0,08**	22,03±0,32**	40,30±0,10	4,50±0,058*	4,22±0,07
3	88,2±0,10*	45,50±0,55	42,70±0,54	3,80±0,104	3,85±0,06

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,001$

личение составило 22,07–23,47% ($P \leq 0,05$) в сравнении со 2-м образцом.

Концентрация метана (CH_4) в ммоль/л (табл. 3) была выше в 3-м образце на 0,19–0,23 ммоль/л ($P \leq 0,001$) относительно аналогов. 2-й образец, в свою очередь, уступал 1-му и 2-му образцам на 0,04–0,23 ммоль/л.

Анализ рубцовой жидкости показал, что микробиом рубца крупного рогатого скота на 98,99±0,12% состоял из представителей домена *Bacteria* и на 1,01±0,04% – *Archaea*. При инкубировании кавитированной лузги подсолнечника (2-й образец)

и кавитированной совместно с молочной кислотой лузги (3-й образец) на модели «искусственный рубец» отмечено снижение численности архей, в частности класса *Methanobacteria* на 23,73% и 20,36% ($P \leq 0,05$) относительно 1-го образца (рис. 1). Во 2-м и 3-м образцах преобладали представители класса *Thermoplasmata*, через 48 часов инкубации их количество в опытных группах увеличивалось на 7,85% и 13,44% относительно 1-го образца.

Микробиом рубца на уровне таксона филум на протяжении всего эксперимента имел сходную тенденцию процентного соотношения микроорганизмов опытных образцов 2 и 3 и образца 1 (рис. 2).

Во временном интервале 48 часов инкубирования *in vitro*, в образцах 2 и 3 увеличивалось число бактерий *Bacteroidetes* на 10,2% и 11,27%, *Firmicutes* – на 4,66% и 6,86% относительно 1-го образца и снижалось количество бактерий *Proteobacteria* на 15,56% и 18,53% по отношению к образцу 1. Представители филумов *Verrucomicrobia* и *Tenericutes* после 48 часов инкубации обнаруживались только в 1-м образце (1,53% и 1,85% от общего числа бактерий в пробе), тогда как филум *Campilobacterota* был найден только во 2-м и 3-м образцах (1,63% и 1,44% от общего числа микроорганизмов). Наименьшее значение не идентифицированных бактерий на уровне филума было в 1-м образце – на 0,64% и 0,99% меньше, чем во 2-м и 3-м.

Таксономические группы микробиома рубцовой жидкости на уровне таксонов класс, отряд, вид в опытных образцах соответствовали значению численного преобладания представителей таксона филум (рис. 3).

На уровне класса после 48 часов экспозиции проб в инкубаторе в 1-м и 2-м образцах преобладала *Gammaproteobacteria* – 47,07% и 29,08% от общего числа бактерий. В 3-м образце наибольшее значение имел класс *Bacteroidia* – 26,67% от общего числа бактерий, тогда как в 1-м и 2-м образцах он составлял 17,53% и 24,12% от общего числа микроорганизмов. Во всех образцах наблюдалось значительное содержание бактерий классов *Clostridia* – 9,38%, 11,57%, 13,38% (от общего числа); *Bacilli* – 7,37%, 6,67%, 10,1% (от общего числа); *Flavobacteriia* – 3,39%, 3,62%, 2,55% от общего числа бактерий в пробе.

Доминирующим таксоном отряда в 1-м образце являлся *Pseudomonadales* – он был представлен на 17,56% и 21,3% больше, чем во 2-м и 3-м образцах соответственно. В 3-м образце наиболее представлен отряд *Bacteroidales* – на 9,14% и 2,55% больше чем в 1-м и 2-м образцах. Видовое разнообразие в содержимом рубца в 1-м образце было представлено бактерия-

Таблица 3. Концентрация метана (CH_4) в условиях *in vitro*, ммоль/л (мг/м³)

Table 3. Concentration of methane (CH_4) under *in vitro* conditions, mol/l (mg/m³)

№ образца	Концентрация метана (CH_4)	
	ммоль/л	мг/м ³
1	0,06±0,001	875,00±8,660
2	0,02±0,002*	284,00±2,309*
3	0,25±0,001*	3 987,00±9,815*

Примечание: * – $P \leq 0,001$

Рис. 1. Изменение численности представителей домена *Archaea* во временном аспекте 48 часов в рубцовой жидкости, %

Fig. 1. Change in the number of representatives of the *Archaea* domain in the time aspect of 48 hours in the rumen fluid, %

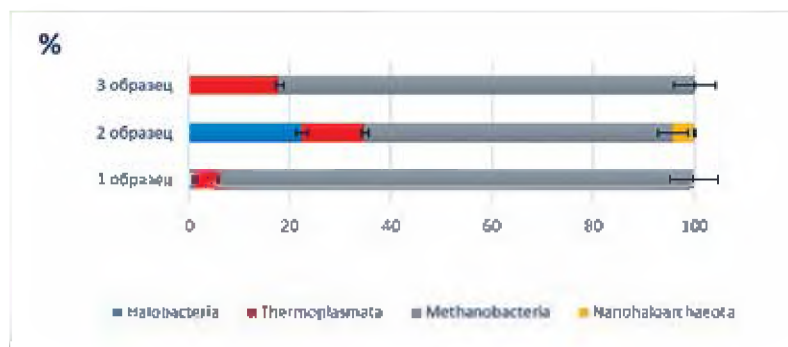
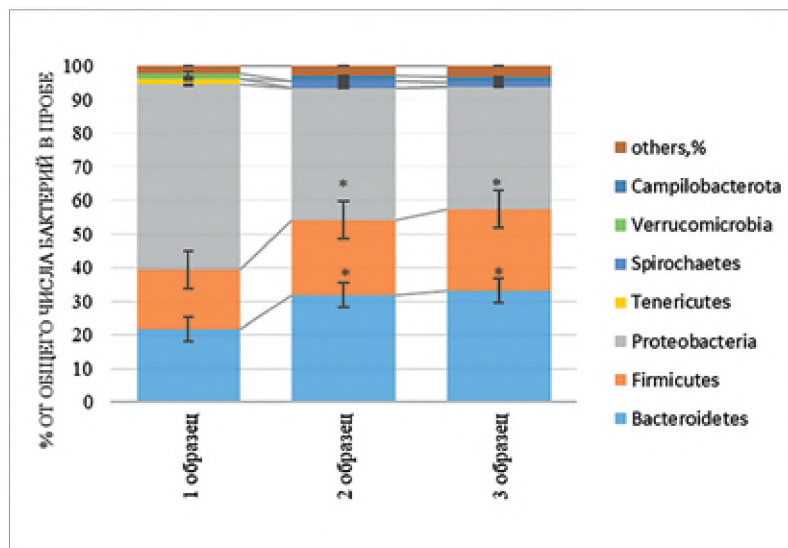


Рис. 2. Изменение численности представителей таксона филум во временном аспекте 48 часов в рубцовой жидкости, %

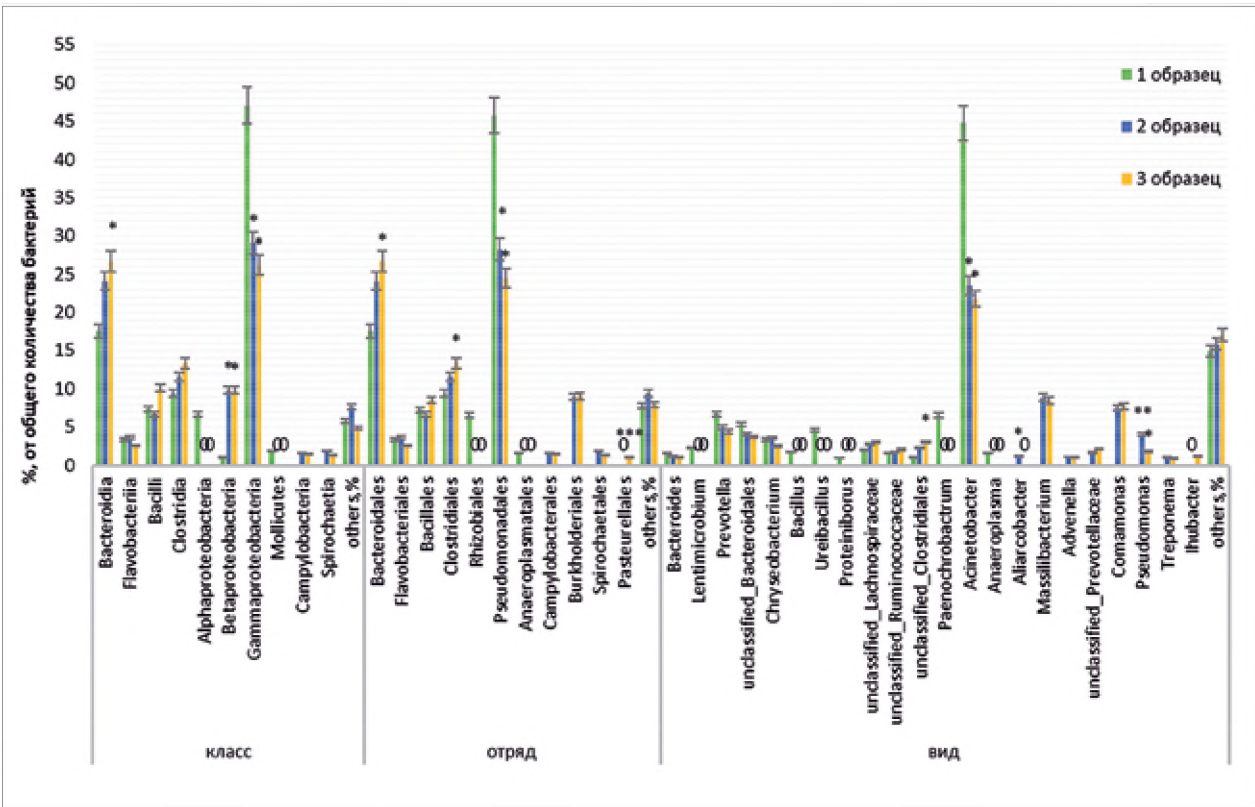
Fig. 2. Change in the number of representatives of the taxon phylum in the time aspect of 48 hours in the rumen fluid, %



Примечание: в группу «others» объединены таксоны, численность которых не превышала 1,0% от общего числа бактерий

Рис.3. Таксономические группы микробиома рубца, % от общего числа бактерий в пробе

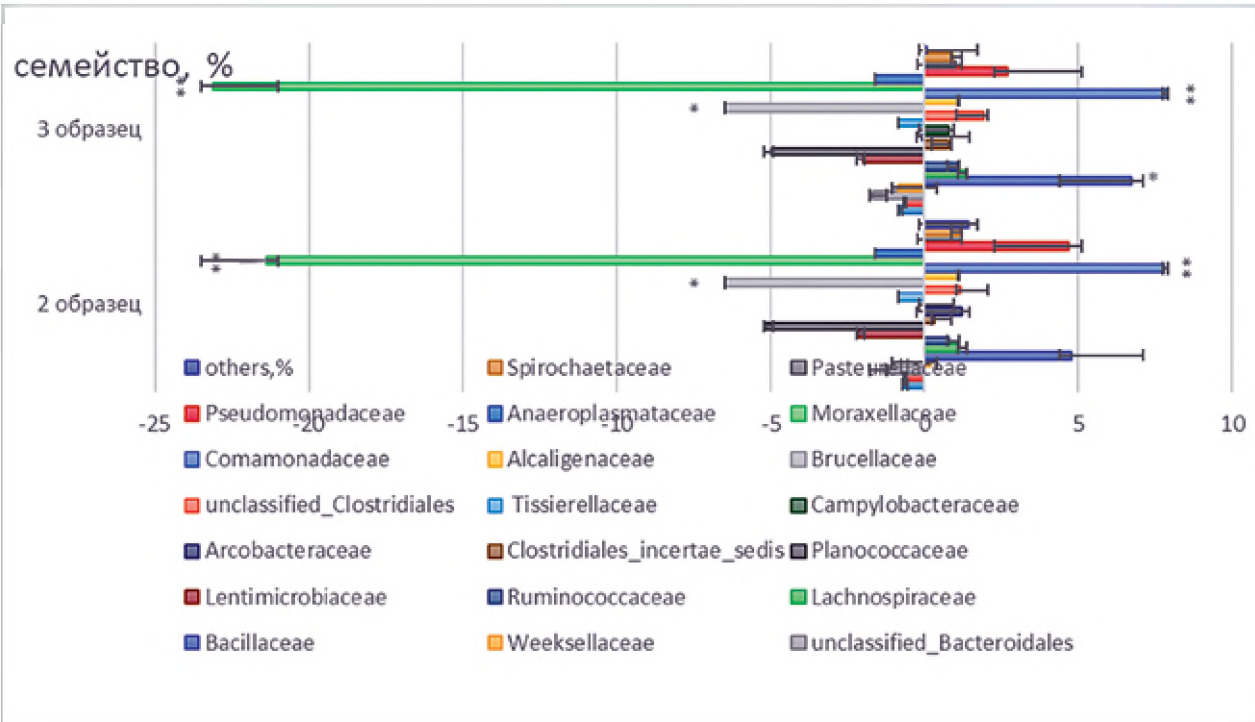
Fig.3. Taxonomic groups of the rumen microbiome, % of the total number of bacteria in the sample



Примечание: в группу «others» объединены таксоны, численность которых не превышала 1,0% от общего числа бактерий

Рис.4. Различия таксономического состава рубцовой жидкости на уровне семейства относительно контроля, %

Fig.4. Difference in the taxonomic composition of the ruminal fluid at the family level relative to the control, %



Примечание: в группу «others» объединены таксоны, численность которых не превышала 1,0% от общего числа бактерий

ми: *Acinetobacter* – 44,77% (от общего числа), *Prevotella* – 6,7% (от общего числа); во 2-м образце: *Acinetobacter* – 23,51% (от общего числа), *Massilibacterium* – 8,85% (от общего числа), *Prevotella* – 4,96% (от общего числа); в 3-м образце: *Acinetobacter* – 21,78% (от общего числа), *Massilibacterium* – 8,45% (от общего числа), *Prevotella* – 4,41% от общего числа бактерий в пробе.

Таксономическое разнообразие микробиома рубца на уровне семейства соответствует наметившейся тенденции содержания бактерий (рис. 4).

После 48 часов инкубирования во 2-м и 3-м образцах обнаружено увеличение численности семейства *Bacillaceae* на 4,79% и 6,7%, *Lachnospiraceae* – на 1,71% и 1,5%, *Ruminococcaceae* – на 1,1% и 1,15% относительно 1-го образца. Достоверно снижается количество бактерий в семействе *Moraxellaceae* на 21,4% и 23,1% во 2-м и 3-м образцах относительно 1-го.

Полученные результаты эксперимента *in vitro* показали, что при инкубировании с рубцовой жидкостью лузги подсолнечника, кавитированной как отдельно, так и совместно с молочной кислотой, повышается переваримость сухого вещества на 21,2%–41,9%. Вероятно, определяющим фактором в этом процессе может быть меньшая бактериальная насыщенность, что приводит к более простой метаболической цепочке, за счет чего происходит увеличение концентраций определенных ферментативных веществ, отвечающих за переваримость [17].

Оценка азотистого обмена позволяет говорить о характере течения пищеварительного процесса [18]. Содержание небелкового азота снижалось в образце 2 на 0,31%, и 2,40% относительно 1-го и 3-го образца, это указывает на значительную скорость поглощения азота микробиотой рубца для превращения его в белок организма [19].

ФИНАНСИРОВАНИЕ

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

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу.

Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Wu F.F., Chao L., Li H.Q., Zhao L.Z., Xu Y.P., Long Y.Z., Chen Q., Zhang Z.M. Research progress of applications of ultrasonic technology in the food industry. *J. Food Saf. Qual.* 2017; 8(7): 2670–2677
2. Long S., Xu Y., Wang C., Li C., Liu D., Piao X. Effects of dietary supplementation with a combination of plant oils on performance, meat quality and fatty acid deposition of broilers. *Asian Australas J Anim Sci.* 2018; 31(11): 1773–1780. doi:10.5713/ajas.18.0056
3. 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; 22055. DOI: 10.1088/1755-1315/839/2/022055
4. Zubiria I., Garcia-Rodriguez A., Abxaerandio R., Ruiz R., Benhissi H., Mandaluniz N., Lavin 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; 9(10): 755. doi: 10.3390/ani9100755
5. Bykov A.V., Kvan O.V., Duskaev G.K. The influence of cavitation processing on biotechnological aspects of feed application. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2021; 012192. DOI: 10.1088/1755-1315/624/1/012192
6. Tursunbayeva S., Iztayev A., Mynbayeva A., Alimardanova M., Iztayev B., Yakiyayeva M. Development of a highly efficient ion-ozone cavitation technology for accelerated bread production. *Scientific Reports.* 2021; 11(1): 19129. doi: 10.1038/s41598-021-98341-w.

В исследованиях после 48 часов экспозиции отмечено снижение численности архей во 2-м и 3-м образцах, в частности класса *Methanobacteria* на 23,73% и 20,36% ($P \leq 0,05$) относительно 1-го образца; вероятно, это связано с активацией процесса анаэробной деструкции, завершающейся метаногенезом [20].

Около 85% общей микрофлоры в рубце представлено филумами *Firmicutes*, *Bacteroidetes* и *Proteobacteria* [21] с большой межиндивидуальной вариабельностью [22] и обратной корреляцией между численностью всех типов [23–24]; в наших исследованиях во всех группах большее значение имели филумы *Firmicutes*, *Bacteroidetes* и *Proteobacteria*, их соотношение напрямую зависело от опытного образца. При экспозиции в инкубаторе лузги подсолнечника, кавитированной как отдельно, так и совместно с молочной кислотой, увеличивалось число *Bacteroidetes* на 10,2% и 11,27% относительно проб с измельченной лузгой (контроль), *Firmicutes* – на 4,66% и 6,86% от контроля, снижалось число *Proteobacteria* на 15,56% и 18,53% от контроля.

Выводы / Conclusion

По результатам исследований *in vitro* установлено, что переваримость сухого вещества в модельном эксперименте увеличивается при инкубировании лузги подсолнечника, кавитированной как отдельно, так и совместно с молочной кислотой, относительно измельченной лузги за счет сдвига соотношения конечных продуктов ферментации в рубцовой жидкости.

Различная обработка подсолнечной лузги влияет на изменение численности представителей таксона филум. Происходит увеличение числа бактерий рода *Bacteroidetes* на 10,2% и 11,27%, *Firmicutes* – на 4,66% и 6,86%, снижение количества бактерий *Proteobacteria* на 15,56% и 18,53% относительно измельченной лузги.

FUNDING

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

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work.

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.

The authors declare no conflict of interest.

7. Mancuso G., Langone M., Andreottola G., Bruni L., Effects of hydrodynamic cavitation, low-level thermal and low-level alkaline pre-treatments on sludge solubilisation. *Ultrasonics Sonochemistry.* 2019; 59: 104750. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104750>
8. Kurilkina M., Muslyumova D., Zavyalov O., Miroshnikov S. Experience in applying the technology of cavitation treatment of sunflower oil sludge for feeding ruminants. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2021; 624: 012110. doi:10.1088/1755-1315/624/1/012110
9. Spirchez C., Lunguleasa A., Croitoru C. Ecological briquettes from sunflower seed husk. *Web of Conferences.* 2019; 80: 01001 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198001001>
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. *Vet Sci.* 2021; 8(9): 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; 1(17): 74. doi:10.1080/1745039X.2020.1756679
12. Gruber L., Khol-Parisini A., Humer E., Abdel-Raheem S.M., Zebeli Q. Long-term influence of feeding barley treated with lactic acid and heat on performance and energy balance in dairy cows. *Arch Anim Nutr.* 2016; 71(1): 54–66. doi: 10.1080/1745039X.2016.1253226

13. Diaz-Royón F., Arroyo J.M., Sánchez-Yelamo M.D., González J. Sunflower meal and spring pea ruminal degradation protection using malic acid or orthophosphoric acid-heat treatments. *Anim Prod Sci.* 2016; 56:2029–2038.
14. Iqbal S., Zebeli Q., Mazzolari A., Dunn S.M., Ametaj B.N. Feeding rolled barley grain steeped in lactic acid modulated energy status and innate immunity in dairy cows. *J Dairy Sci.* 2010; 93(11):5147–56. doi: 10.3168/jds.2010-3118
15. Wallace R.J., Rooke J.A., McKain N., Duthie C.A., Hyslop J.J., Ross D.W., Waterhouse A., Watson M., Roehe R. The rumen microbial metagenome associated with high methane production in cattle. *BMC Genomics.* 2015; 16:839 <https://doi.org/10.1186/s12864-015-2032-0>
16. Neumann A.P., Suen G. The phylogenomic diversity of herbivore-associated fibrobacter spp. is correlated to lignocellulose-degrading potential. *mSphere.* 2018; 3(6):e00593-18. doi: 10.1128/mSphere.00593-18
17. Yue C., Ben H., Wang J., Li T., Yu G. Ultrasonic pretreatment in synthesis of caprylic-rich structured lipids by lipase-catalyzed acidolysis of corn oil in organic system and its physicochemical properties. *Foods.* 2019;8(11):566. doi: 10.3390/foods8110566
18. Regulations on waste management in the metropolitan region and the municipality of Kirkkonummi. Helsinki Region Environmental Service (HSY) <https://julkaisu.hsy.fi/paakaupunkiseudun-jairkkonummenjathuoltomaaraykset.html#chbXlwd4Jl> (Date of request.) (Accessed HSY, May 22, 2020). (in Finnish)
19. Matthews C., Crispie F., Lewis E., Reid M., O'Toole P.W., Cotter P.D. The rumen microbiome: a crucial consideration when optimising milk and meat production and nitrogen utilisation efficiency. *Gut Microbes.* 2019; 10(2):115–132. doi: 10.1080/19490976.2018.1505176
20. 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 rumen microbial genes involved in pathways linked to appetite, growth, and feed conversion efficiency in cattle. *Front Genet.* 2019; 8(10):701. doi: 10.3389/fgene.2019.00701
21. Shabat S.K., Sasson G., Doron-Faigenboim A., Durman T., Yaacoby S., Berg Miller M.E., White B.A., Shterzer N., Mizrahi I. Specific microbiome-dependent mechanisms underlie the energy harvest efficiency of ruminants. *ISME J.* 2016; 10(12):2958–2972. doi: 10.1038/ismej.2016.62
22. Scharen M., Frahm J., Kersten S., Meyer U., Hummel J., Breves G., Danicke S. Interrelations between the rumen microbiota and production, behavioral, rumen fermentation, metabolic, and immunological attributes of dairy cows. *J Dairy Sci.* 2018; 101(5):4615–4637. doi: 10.3168/jds.2017-13736
23. Ribeiro G.O., Gruninger R.J., Badhan A., McAllister T.A. Mining the rumen for fibrolytic feed enzymes. *Animal Frontiers.* 2016; 6(2):20–26 <https://doi.org/10.2527/af.2016-0019>
24. Pickering N.K., Oddy V.H., Basarab J., Cammack K., Hayes B., Hegarty R.S., Lassen J., McEwan J.C., Miller S., Pinares-Patino C.S., Haas Y. Animal board invited review: genetic possibilities to reduce enteric methane emissions from ruminants. *Animal.* 2015;9(9):1431–40. doi: 10.1017/S1751731115000968

ОБ АВТОРАХ:

Ксения Николаевна Атландерова, кандидат биологических наук, научный сотрудник испытательного центра, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 29, ул. 9 Января, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация e-mail: atlander-kn@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-3977-4831>

Сергей Александрович Мирошников, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 29, ул. 9 Января, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация e-mail: vniims.or@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-1173-1952>

Виталий Александрович Рязанов, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 29, ул. 9 Января, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация e-mail: vita7456@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0003-0903-9561>

Галимжан Калиханович Дускаев, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 29, ул. 9 Января, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация e-mail: gduskaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9015-8367>

Елена Владимировна Шейда, кандидат биологических наук, – научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, ул. 9 Января, 29, Оренбург, 460000, Российская Федерация; – старший научный сотрудник института биоэлементологии, Оренбургский государственный университет, 13, пр. Победы, Оренбург, 460018, Российская Федерация, тел.: +7 (922) 862-64-02, e-mail: elena-shejda@mail.ru, <https://doi.org/0000-0002-2586-613X>

ABOUT THE AUTHORS:

Ksenia Nikolaevna Atlanderova, Candidate of Biological Sciences, Researcher at the Testing Center, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, Str. Yanvarya 9, Orenburg, 460000, Russian Federation e-mail: atlander-kn@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-3977-4831>

Sergey Aleksandrovich Miroshnikov, Doctor of Biological Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Department of Farm Animal Feeding and Feed Technology named after S.G. Leushina, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, Str. Yanvarya 9, Orenburg, 460000, Russian Federation e-mail: vniims.or@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-1173-1952>

Vitaliy Aleksandrovich Ryazanov, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Department of Farm Animal Feeding and Feed Technology. S.G. Leushina, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, Str. Yanvarya 9, Orenburg, 460000, Russian Federation e-mail: vita7456@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0003-0903-9561>

Galimzhan Kalikhanov Duskaev, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher of the Department of Farm Animal Feeding and Feed Technology named after S.G. Leushin, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, Str. Yanvarya 9, Orenburg, 460000, Russian Federation e-mail: gduskaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9015-8367>

Elena Vladimirovna Sheida, Candidate of Biological Sciences, – Researcher at the Laboratory of Biological Tests and Examinations, Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, str. January 9, Orenburg, 460000, Russian Federation; – Senior Researcher at the Institute of Bioelementology, Orenburg State University, 13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russian Federation, tel.: +7 (922) 862-64-02, e-mail: elena-shejda@mail.ru, <https://doi.org/0000-0002-2586-613X>