

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ

ANIMAL BREEDING AND VETERINARY

Научная статья

УДК 636.3:591.132

EDN RWWYDH

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-49-55>

Роль инфузорий рубца овец в метаболизме продуктов переработки сои

Светлана Владимировна Карамушкина

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева
Москва, Россия, sveta.vetmed@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты хронического физиологического эксперимента по изучению роли инфузорий в метаболизме продуктов переработки сои. Использование фистульных технологий позволяет получить фундаментальные знания о процессах микробной ферментации соевого белка. Даётся сравнительный анализ численности инфузорий в 1 мл рубцовой жидкости овец при введении в рацион соевых бобов, соевого шрота, фуражи и соевого жмыха. На основании исследования показателей белкового обмена, таких как общий азот и мочевина, сделаны выводы об эффективности метаболизма соевых протеинов в рубце жвачных животных.

Ключевые слова: инфузории, рубцовое пищеварение, продукты переработки сои, метаболизм белков, мочевина, общий азот

Для цитирования: Карамушкина С. В. Роль инфузорий рубца овец в метаболизме продуктов переработки сои // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 3. С. 49–55.
<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-3-49-55>.

Original article

The role of sheep rumen ciliates in the metabolism of soybean processing products

Svetlana V. Karamushkina

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Moscow, Russian Federation, sveta.vetmed@mail.ru

Abstract. The article presents the results of a chronic physiological experiment studying the role of ciliates in the metabolism of soybean processing products. The use of fistula technologies allows us to obtain fundamental knowledge about the processes of microbial fermentation of soybean protein. A comparative analysis of the number of ciliates in 1 ml of rumen fluid of sheep is given when soybeans, soybean meal, fodder and soybean meal are introduced into the diet. Based on the study of protein metabolism indicators, such as total nitrogen and urea, conclusions are made about the efficiency of soybean protein metabolism in the rumen of ruminants.

Keywords: infusoria, rumen digestion, soybean processing products, protein metabolism, urea, total nitrogen

For citation: Karamushkina S. V. The role of sheep rumen ciliates in the metabolism of soybean processing products. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19;3:49–55. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-19-3-49-55>.

Введение. Содержание большого количества трудноперевариваемых и антипитательных веществ в продуктах переработки сои ограничивает возможность применения данного кормового ресурса для моногастрических животных [1–3]. Однако для овец, как модельных жвачных животных, биодоступность питательных веществ, содержащихся в соевых продуктах, относительно высока в результате предварительной обработки кормовых масс в рубце [4–6].

Соевые белки, такие как глицинин и β -конглицинин, имеют сложную структуру, устойчивы к ферментам желудка, но чувствительны к микробным протеазам. Инфузории, благодаря цистеиновым протеазам, эффективно расщепляют эти белки до пептидов. Исследование в *Animal Feed Science and Technology* (2018) показало, что ферментированный соевый шрот обеспечивает рост активности инфузорий на 25 %, что связано с частичной деградацией антипитательных веществ [7].

Инфузории рубца овец, включая виды *Entodinium*, *Diplodinium* и *Epidinium*, за счет активного фагоцитоза преобразуют растительный белок в более доступные формы, которые, в свою очередь, ферментируются бактериями рубца. Внутри простейших белки расщепляются протеазами (например, цистеиновыми и аспартатными) до пептидов и аминокислот [8, 9]. Так же за счет *Epidinium* происходит более глубокий распад аминокислот (аргинин и лизин), что способствует образованию аммиака в рубце [10].

Используя малодоступный для организма животных соевый белок, инфузории преобразуют его в полноценный белок своего тела, который переваривается и усваивается в кишечнике жвачных. Ре-

зультаты проведенного исследования [11] показали, что такие виды инфузорий, как *Entodinium*, вносят до 40 % в общий синтез микробного белка в рубце овец, особенно при использовании белковых кормов, в частности соевого шрота.

Цель работы – исследовать роль инфузорий рубца овец в метаболизме продуктов переработки сои.

Методика исследований. В основе исследований лежит хронический физиологический эксперимент с применением фистулированных животных, который позволяет получать рубцовую жидкость и исследовать инфузории в экосистеме рубца как едином целом, не исключая влияния всех факторов организма животного на рубцовое пищеварение.

Опыт проводили в период с ноября 2024 г. по февраль 2025 г. на базе кафедры физиологии, этологии и биохимии животных Российской государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева. Эксперименты с использованием животных выполнялись с учетом требований гуманного к ним отношения с применением седативных и обезболивающих средств и были утверждены протоколом № 29 от 17.11.2024 г. комиссии по биоэтике соответствующего образовательного учреждения.

Исследования проводили методом групп периодов со следующими кормовыми добавками: соя, фураж, шрот, жмых.

В контрольный период овцы в качестве основного рациона получали 2 кг сена и 500 г комбикорма ОК-80. В опытные периоды животным в рацион вводились различные соевые продукты в количестве 30 % от массы концентрированного корма (табл. 1). Между опытными перио-

Таблица 1 – Питательность белкового компонента экспериментальных кормов
Table 1 – Nutritional value of the protein component of experimental feeds

Экспериментальные компоненты рациона	Зоотехнический анализ	
	сырой протеин, %	переваримый протеин, г
Комбикорм ОК-80	13,5	114,4
Соевый шрот	43,9	400,0
Соевый фураж	16,1	129,2
Нативные бобы сои	34,6	281,2
Соевый жмых	40,2	384,1

дами животные находились на основном рационе в течение 10 дней.

Рубцовое содержимое получали у овец через хроническую фистулу. Об интенсивности рубцового пищеварения судили по количественному содержанию инфузорий в 1 мл рубцовой жидкости, собранной натощак (после 12-часового голодания) на 1 и 5 дни экспериментального периода. Также исследовали pH и количество мочевины, являющейся метаболитом белкового компонента корма.

Подсчет числа инфузорий выполнялся с использованием камеры Горяева в 100 больших квадратах с последующим пересчетом этих данных на 1 мл рубцового содержимого.

Количество мочевины в рубцовой жидкости определяли, используя полуавтоматический биохимический анализатор BS-3000M (Sinnowa, Китай), с применением наборов биохимических реагентов для ветеринарии ДиаВетТест (Диавет, Россия). Измерение массовой доли общего азота проводили по методу Кельдаля.

Полученные результаты обрабатывали методом вариационной статистики с помощью программы Microsoft Excel. Для статистической оценки полученных результатов использовался *t*-критерий Стьюдента. Результаты считались достоверно значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследований. Замена части рациона овец на соевые продукты

влияет на количество инфузорий в 1 мл рубцовой жидкости (табл. 2).

Анализируя данные, можно отметить, что количество инфузорий в 1 мл рубцовой жидкости овец на 5 день экспериментального периода увеличилось по сравнению с первым днем при добавлении соевых бобов на 29,6%; соевого фуража – на 20,7%; соевого шрота – на 39,8% и соевого жмыха – на 42,8%. При сравнении опытных периодов с контролем также наблюдаем достоверное увеличение количества инфузорий на 5 день эксперимента при замене части рациона на соевые бобы на 25,9%; соевый шрот – на 42,1%; соевый фураж – на 38,6%. Вместе с тем при введении в рацион соевого фуража достоверной разницы с контролльным периодом не наблюдается.

Изменение количественного состава инфузорий, в свою очередь, отражается на интенсивности метаболизма соевых белков в полости рубца. Для оценки интенсивности протеолитического эффекта простейших проведем сравнительный анализ метаболитов белкового обмена в рубцовой жидкости овец при использовании экспериментальных соевых продуктов.

По данным рисунка 1, повышение концентрации общего азота в рубце по сравнению с контрольным периодом при добавлении в рацион соевых продуктов составило: соевых бобов в 2,6 раза; соевого фуража в 1,7 раза; соевого шрота в 3,1 раза и соевого жмыха в 2,9 раза. При

Таблица 2 – Количество инфузорий в 1 мл рубцовой жидкости овец при введении в рацион продуктов переработки сои

Table 2 – The number of infusoria in 1 ml of sheep rumen fluid when soybean products are introduced into the diet

Тысяч единиц в одном миллилитре (thousands of units per milliliter)

Экспериментальные периоды	Количество инфузорий	
	на первый день опытного периода	на пятый день опытного периода
Контрольный (комбикорм ОК-80)	173,3±16,72	315,0±12,48*
Первый опытный (соевые бобы)	279,2±20,07	396,7±10,33* ^k
Второй опытный (соевый фураж)	291,7±22,07	352,2±13,48*
Третий опытный (соевый шрот)	320,0±34,41	447,5±25,36* ^k
Четвертый опытный (соевый жмых)	305,7±18,74	436,7±21,88* ^k

* $p < 0,05$ – уровень достоверности при сравнении с первым днем экспериментального периода; ^k – по сравнению с контрольным периодом.

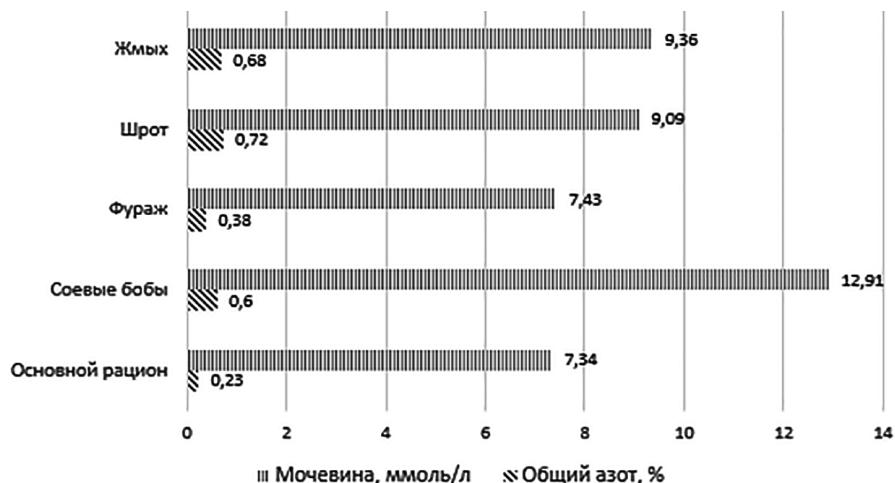


Рисунок 1 – Показатели метаболизма белка в рубцовой жидкости овец при введении в рацион продуктов переработки сои

Figure 1 – Indicators of protein metabolism in sheep rumen fluid when soybean products are introduced into the diet

этом концентрация мочевины достоверно повышается по сравнению с основным рационом при введении в рацион соевых бобов на 76 %; соевого шрота на 24 % и соевого жмыха на 27 %.

Обсуждение результатов. Способность овец переваривать и усваивать продукты переработки сои обусловлена изменением общего числа инфузорий в рубцовой жидкости. Наиболее интенсивный рост числа инфузорий наблюдается при введении в рацион соевого шрота и соевого жмыха – до $447,5 \pm 25,36$ и $436,7 \pm 21,88$ тысяч в 1 мл соответственно. Эти показатели полностью соотносятся с содержанием в данных кормах сырого и переваримого протеина (табл. 1) – основного источника питательных веществ для простейших [12–14].

Интенсивность роста количества простейших при введении в рацион термически необработанных нативных соевых бобов понижается на 13 %, а соевого фуража на 27 % по сравнению с соевым шротом. Данный факт подтверждает влияние предварительной обработки соевых продуктов на интенсивность синтеза микробного белка в рубце жвачных [15, 16].

Эффективность метаболизма соевых белков характеризуется изменением концентрации общего азота и мочевины в преджелудках овец. Наиболее высокий уровень мочевины наблюдается при введении в рацион нативных соевых бобов (по сравнению с контрольным периодом

в 1,8 раза) (рис. 1). Столь высокое содержание мочевины указывает на увеличение деградации соевого белка и процессов дезаминирования при участии инфузорий, тогда как содержание общего азота при замене концентратной части рациона на нативные соевые бобы не имеет достоверной разницы по сравнению с соевым шротом и жмыхом. Можно предположить, что в первом опытном периоде процессы ферментации превалируют над процессами синтеза микробного белка (табл. 2) и большая часть мочевины остается в рубцовой жидкости в свободном виде [17].

При введении в рацион соевого шрота и жмыха уровень мочевины незначительно повышается по сравнению с контролем – на 24 и 25 % соответственно, а концентрация общего азота выше, чем при основном рационе, в 2,13 раза. Такое соотношение показателей белкового метаболизма говорит об интенсивном использовании мочевины для микробного синтеза и подтверждается данными других исследователей [18].

Заключение. При введении в рацион продуктов переработки сои наиболее эффективно метаболизируются термически обработанные соевые продукты, такие как соевый шрот и соевый жмых. Это характеризуется относительно невысоким содержанием мочевины в рубцовой жидкости овец при значительном росте количества инфузорий и концентрации общего азота.

Список источников

1. Ниязов Н. С. А. Исследование влияния добавки экструдированной сои на эффективность использования корма у свиней // Проблемы биологии продуктивных животных. 2024. № 3. С. 88–99. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2024.3.88-99. EDN LMJOJS.
2. Цугленок Н. В., Матюшев В. В., Цугленок Г. И., Хохлова А. И. Результаты исследований по инактивации антипитательных веществ в сое // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2012. № 5 (68). С. 394–397. EDN ОYСИНТ.
3. Дежаткина С. В., Феоктистова Н. А., Шаронина Н. В., Исайчев В. А., Дежаткин М. Е., Григорьев В. С. Пути повышения качества продукции животноводства за счет скармливания натуральной БУМВД // Аграрная наука. 2022. № 2. С. 37–42. doi: 10.32634/0869-8155-2022-356-2-37-42. EDN VQWVCP.
4. Габаев М. С., Жашуев Ж. Х., Бербекова Н. В., Отарова Р. М. Эффективность использования кормовой сои и сенажа люцернового в молочном скотоводстве // Аграрный вестник Урала. 2014. № 10 (128). С. 41–43. EDN SXRGCX.
5. Павлова М. В., Боголюбова Н. В., Романов В. Н. Биохимический статус крови и рубца овец при использовании новой формы бетаина // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2023. № 7. С. 6–13. doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202307001. EDN IQESKL.
6. Карамушкина С. В., Вадько А. В. Перспективы использования отходов производства сои в овцеводстве // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы всерос. науч.-практ. конф. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2021. С. 52–55. EDN HDIAIH.
7. Wang H. Effects of fermented soybean meal on rumen fermentation and microbial communities in sheep // Animal Feed Science and Technology. 2018. Vol. 243. P. 1–9. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.06.008.
8. Харитонов Е. Л., Березин А. С. Процессы рубцового пищеварения у бычков в периоды выращивания и откорма при разном уровне обменного протеина в рационе // Проблемы биологии продуктивных животных. 2019. № 4. С. 64–72. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2019.4.64-72. EDN YZOSWW.
9. Fondevila M., Dehority B. A. *In vitro* digestion of bacterial and protozoal cell walls by *Entodinium caudatum* // Applied and Environmental Microbiology. 2000. Vol. 66. Iss. 4. P. 1696–1701. doi: 10.1128/AEM.66.4.1696-1701.2000.
10. Newbold C. J. Rumen microbial ecosystem and nitrogen metabolism // Journal of Dairy Science. 2015. Vol. 98. Iss. 3. P. 1501–1512. doi: 10.3168/jds.2014-8792.
11. Belanche A. Rumen microbial communities influence metabolic phenotypes in lambs // Journal of Animal Science. 2020. Vol. 98. Iss. 4. P. 74. doi: 10.1093/jas/skaa074.
12. Zhang J., Wu X., Zhang C., Hao X., Yu S., Mu C., Zhao J. Replacing soybean meal with flax seed meal: effects on nutrient digestibility, rumen microbial protein synthesis and growth performance in sheep // Animal. 2020. No. 3. P. 1–8.
13. Lind V., Fernández-Yepes J., Arbesu L., Weisbjerg M., Jørgensen G., Molina-Alcaide E. Ruminal fermentation, growth rate and methane production in sheep fed diets including white clover, soybean meal or *Porphyra* sp. // Animals. 2020. Vol. 10. Iss. 1. P. 79. doi: 10.3390/ani10010079.
14. Карамушкина С. В., Вадько А. В. Показатели белкового обмена у жвачных животных при кормлении отходами соевого производства // Овцы, козы, шерстяное дело. 2024. № 1. С. 55–58. doi: 10.26897/2074-0840-2024-1-55-58. EDN RVZGVL.
15. Jeong S., Oh J., Yoo D., Seo J. Effects of citric acid and heat-treated soybean meal on rumen fermentation characteristics, methane emissions, and microbiota: an *in vitro* study // Journal of Animal Science and Technology. 2024. Vol. 67. P. 393–409. doi: 10.5187/jast.2024.e102.
16. Bahman A., Faciola A., Sarmikasoglou E., Monteiro H., Arce-Cordero J., Johnson M. [et al.]. Effects of amino resin-treated and heat-treated soybean meal on ruminal fermentation, nutrient digestion, and nitrogen partitioning in continuous culture // Journal of Dairy Science. 2024. No. 6. doi: 10.3168/jds.2024-24687.

17. Moran C., Vienola K., Raatikainen K., Holder V., Apajalahti J. Conversion of branched-chain amino acids to corresponding isoacids – an *in vitro* tool for estimating ruminal protein degradability//Frontiers in Veterinary Science. 2019. Vol. 6. P. 311. doi: 10.3389/fvets.2019.00311.

18. Yunilas Y., Tanuwiria U., Syamsu J., Zain M. The balance of rumen degradable protein and readily available carbohydrate in sheep rations on *in vitro* fermentability// Journal of Advanced Veterinary and Animal Research. 2023. Vol. 10. P. 738–743. doi: 10.5455/javar.2023.j729.

References

1. Niyazov N. S. A. Study of the effect of extruded soybean supplementation on feed efficiency in pigs. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh*, 2024;3:88–99. doi: 10.25687/1996-6733. prodanimbiol.2024.3.88-99. EDN LMJOJS (in Russ.).
2. Tsuglenok N. V., Matyushev V. V., Tsuglenok G. I., Khokhlova A. I. Results of studies on the inactivation of anti-nutritional substances in soybeans. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012;5(68):394–397. EDN OYCIHT (in Russ.).
3. Dezhatkina S. V., Feoktistova N. A., Sharonina N. V., Isaichev V. A., Dezhatkina M. E., Grigoriev V. S. Ways to improve the quality of livestock products through the feeding of natural protein-vitamin-mineral supplements. *Agrarnaya nauka*, 2022;2:37–42. doi: 10.32634/0869-8155-2022-356-2-37-42. EDN VQWVCP. (in Russ.).
4. Gabaev M. S., Zhashuev Zh. Kh., Berbekova N. V., Otarova R. M. Efficiency of using feed soybeans and alfalfa silage in dairy cattle breeding. *Agrarnyi vestnik Urala*, 2014;10(128):41–43. EDN SXRGCX (in Russ.).
5. Pavlova M. V., Bogolyubova N. V., Romanov V. N. Biochemical status of blood and rumen in sheep using a new form of betaine. *Veterinariya, zootehnika i biotekhnologiya*, 2023;7:6–13. doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202307001. EDN IQESKL (in Russ.).
6. Karamushkina S. V., Vadko A. V. Prospects for the use of soybean production waste in sheep farming. Proceedings from Agro-industrial complex: problems and prospects of development: *Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 52–55), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2021 (in Russ.).
7. Wang H. Effects of fermented soybean meal on rumen fermentation and microbial communities in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 2018;243:1–9. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.06.008.
8. Kharitonov E. L., Berezin A. S. Rumen digestion processes in bullocks during rearing and fattening periods with different levels of metabolizable protein in the diet. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh*, 2019;4:64–72. doi: 10.25687/1996-6733. prodanimbiol.2019.4.64-72. EDN YZOSWW (in Russ.).
9. Fondevila M., Dehority B. A. *In vitro* digestion of bacterial and protozoal cell walls by *Entodinium caudatum*. *Applied and Environmental Microbiology*, 2000;66;4:1696–1701. doi: 10.1128/AEM.66.4.1696-1701.2000.
10. Newbold C. J. Rumen microbial ecosystem and nitrogen metabolism. *Journal of Dairy Science*, 2015;98;3:1501–1512. doi: 10.3168/jds.2014-8792.
11. Belanche A. Rumen microbial communities influence metabolic phenotypes in lambs. *Journal of Animal Science*, 2020;98;4:74. doi: 10.1093/jas/skaa074.
12. Zhang J., Wu X., Zhang C., Hao X., Yu S., Mu C., Zhao J. Replacing soybean meal with flax seed meal: effects on nutrient digestibility, rumen microbial protein synthesis and growth performance in sheep. *Animal*, 2020;3:1–8.
13. Lind V., Fernández-Yepes J., Arbesu L., Weisbjerg M., Jørgensen G., Molina-Alcaide E. Ruminal fermentation, growth rate and methane production in sheep fed diets including white clover, soybean meal or *Porphyra sp.* *Animals*, 2020;10;1:79. doi: 10.3390/ani10010079.
14. Karamushkina S. V., Vadko A. V. Indicators of protein metabolism in ruminants when fed with soybean production waste. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo*, 2024;1:55–58. doi: 10.26897/2074-0840-2024-1-55-58. EDN RVZGVL (in Russ.).

15. Jeong S., Oh J., Yoo D., Seo J. Effects of citric acid and heat-treated soybean meal on rumen fermentation characteristics, methane emissions, and microbiota: an *in vitro* study. *Journal of Animal Science and Technology*, 2024;67:393–409. doi: 10.5187/jast.2024.e102.
16. Bahman A., Faciola A., Sarmikasoglou E., Monteiro H., Arce-Cordero J., Johnson M. [et al.]. Effects of amino resin-treated and heat-treated soybean meal on ruminal fermentation, nutrient digestion, and nitrogen partitioning in continuous culture. *Journal of Dairy Science*, 2024; 6. doi: 10.3168/jds.2024-24687.
17. Moran C., Vienola K., Raatikainen K., Holder V., Apajalahti J. Conversion of branched-chain amino acids to corresponding isoacids – an *in vitro* tool for estimating ruminal protein degradability. *Frontiers in Veterinary Science*, 2019;6:311. doi: 10.3389/fvets.2019.00311.
18. Yunilas Y., Tanuwiria U., Syamsu J., Zain M. The balance of rumen degradable protein and readily available carbohydrate in sheep rations on *in vitro* fermentability. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 2023;10:738–743. doi: 10.5455/javar.2023.j729.

© Карамушкина С. В., 2025

Статья поступила в редакцию 01.08.2025; одобрена после рецензирования 29.08.2025; принята к публикации 01.09.2025.

The article was submitted 01.08.2025; approved after reviewing 29.08.2025; accepted for publication 01.09.2025.

Информация об авторе

Карамушкина Светлана Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, Российской государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, ORCID: 0009-0009-6485-7146, Author ID: 337761, sveta.vetmed@mail.ru

Information about the author

Svetlana V. Karamushkina, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ORCID: 0009-0009-6485-7146, Author ID: 337761, sveta.vetmed@mail.ru