

УДК 636.084:636.084.4

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-393-04-69-74

В.В. Гречкина^{1,3}

Е.В. Шейда^{1,2}

О.В. Кван^{1,2} ✉

А.Д. Шевченко¹

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

²Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

³Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

✉ kwan111@yandex.ru

Поступила в редакцию: 28.12.2024

Одобрена после рецензирования: 10.03.2025

Принята к публикации: 24.03.2025

© Гречкина В.В., Шейда Е.В., Кван О.В., Шевченко А.Д.

Применение экзогенных кормовых ферментов в питании жвачных животных

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Расщепляя питательные вещества корма, улучшая амилолитическую, протеолитическую, целлюлозолитическую активность рубцовой жидкости и ее перевариваемость, используемые ферменты — протеаза грибная щелочная и альфа-амилаза грибная — позволяют значительно повысить жизнедеятельность симбиотической микрофлоры рубца, что определяется их взаимодействием с другими ферментами.

Цель исследования — изучить изменения концентрации ЛЖК, переваримости корма, а также морфологические и биохимические показатели крови телят при введении в рацион ферментов протеаза грибная щелочная и альфа-амилаза грибная.

Материалы и методы. Рубцовую жидкость для исследования получали от бычков казахской белоголовой породы (n = 4) средней массой 310–2320 кг в возрасте 14–15 мес. Животные контрольной и опытных групп находились на основном сбалансированном рационе, в рацион бычкам опытных групп в составе концентрированного корма вносили в рацион ферментные препараты: I опытная — протеазу грибную щелочную 25 г/т; II опытная — протеазу грибную щелочную 50 г/т; III опытная — альфа-амилазу грибную 25 г/т; IV опытная — альфа-амилазу грибную 50 г/т.

Результаты. Результаты эксперимента показали, что лучшая дозировка введения грибной щелочной протеазы составила 25 г/т, а альфа-амилазы грибной — 50 г/т. Их присутствие в рационе приводило к изменению ЛЖК в рубцовом содержимом, улучшению переваримости сухого вещества и сырого протеина, что способствует высокому уровню протекания процессов рубцового пищеварения, и это значительно отражалось на морфологических и биохимических показателях крови животных.

Ключевые слова: экзоферменты, кормление, метаболизм рубца, летучие жирные кислоты, метаболиты азота, протеаза, липаза, амилаза

Для цитирования: Гречкина В.В., Шейда Е.В., Кван О.В., Шевченко А.Д. Применение экзогенных кормовых ферментов в питании жвачных животных. *Аграрная наука*. 2025; 393(04): 69–74.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-69-74>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-393-04-69-74

Viktoria V. Grechkina^{1,3}

Elena V. Sheida^{1,2}

Olga V. Kvan^{1,2} ✉

Alexander D. Shevchenko¹

¹Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

²Orenburg State University, Orenburg, Russia

³Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

✉ kwan111@yandex.ru

Received by the editorial office: 28.12.2024

Accepted in revised: 10.03.2025

Accepted for publication: 24.03.2025

© Grechkina V.V., Sheida E.V., Kvan O.V., Shevchenko A.D.

The use of exogenous feed enzymes in the nutrition of ruminants

ABSTRACT

Relevance. By splitting the nutrients of the feed, improving the amylolytic, proteolytic, and cellulolytic activity of the scar fluid and its digestibility, the fungal alkaline protease and fungal alpha-amylase enzymes used can significantly enhance the vital activity of the symbiotic microflora of the scar, which is determined by their interaction with other enzymes.

The aim of the study was to study changes in the concentration of LDL, the digestibility of feed, as well as morphological and biochemical parameters of calves' blood when the enzymes fungal alkaline protease and fungal alpha-amylase were introduced into the diet.

Materials and methods.

Scar tissue for the study was obtained from Kazakh white-headed bull calves (n = 4), with an average weight of 310–2320 kg at the age of 14–15 months. The animals of the control and experimental groups were on a basic balanced diet, and enzyme preparations were added to the diet of the calves of the experimental groups as part of concentrated feed: I experimental — fungal alkaline protease 25 g/t; II experimental — fungal alkaline protease 50 g/t; III experimental — fungal alpha-amylase 25 g/t; IV experimental — alpha-amylase mushroom 50 g/t.

Results and conclusions. The results of the experiment showed that the best dosage of mushroom alkaline protease was 25 g/t, and mushroom alpha-amylase was 50 g/t. Their presence in the diet led to a change in the LVF in the scar content, improved the digestibility of dry matter and crude protein, which contributes to a high level of scar digestion processes, and this significantly affected the morphological and biochemical parameters of animal blood.

Key words: exoenzymes, feeding, rumen metabolism, volatile fatty acids, nitrogen metabolites, protease, lipase, amylase

For citation: Grechkina V.V., Sheida E.V., Kvan O.V., Shevchenko A.D. The use of exogenous feed enzymes in the nutrition of ruminants. *Agrarian science*. 2025; 393(04): 69–74 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-69-74>

Введение/Introduction

Естественные корма для жвачных животных содержат минимальные количества жиров и характеризуются низкой энергетической плотностью. Энергия, содержащаяся в растительных кормах, находится в виде сложных углеводов, которые составляют около 90% общей энергетической ценности рациона жвачных, но не могут быть расщеплены ферментами их пищеварительной системы [1].

Для осуществления ферментации растительных веществ требуется определенное время, в связи с чем корма должны оставаться в рубце (главной ферментационной камере) дольше, чем в других участках пищеварительного тракта [2].

Расщепляя питательные вещества корма, улучшая амилалитическую, протеолитическую, целлюлозолитическую активность рубцовой жидкости и ее перевариваемость, используемые ферменты позволяют значительно повысить жизнедеятельность симбиотической микрофлоры рубца, что определяется их взаимодействием с другими ферментами [3]. Основным источником энергии для обмена веществ животных являются летучие жирные кислоты корма [4]. Кроме того, рубец усваивает ЛЖК с разной скоростью в зависимости от концентрации кислот и уровня pH рубца, причем скорость абсорбции различается в зависимости от концентрации кислот и pH ЛЖК [5].

Исследования по использованию ферментных препаратов в рационах кормления молочного скота показывают, что более 70% сухого вещества в рационах переваривается ферментами микрофлоры рубца [6]. Добавляя в рационы коров ферменты, изменения в рационе питания и продукты на основе микробов, разумно ожидать повышения продуктивности на 4–13% и рентабельности кормов на 7–10%, а также снижения общей стоимости кормов.

Недавние достижения в биотехнологии, снижение себестоимости производства ферментов и более четкое определение коммерческих ферментных продуктов побудили исследователей пересмотреть потенциал экзогенных ферментов для улучшения использования корма жвачными животными. Надлежащее использование экзогенных ферментов, а также тщательный выбор компонентов для ввода в комбикорма позволят сократить затраты на источники энергии, протеина и других питательных веществ [7].

Цель исследования — изучить изменения концентрации ЛЖК, переваримости корма, а также морфологические и биохимические показатели крови телят при введении в рацион протеазы грибной щелочной и альфа-амилазы грибной.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили в 2023–2024 гг. на базе отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. профессора С.Г. Леушина ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (г. Оренбург, Россия).

Рубцовую жидкость для исследования получали от бычков казахской белоголовой породы ($n = 4$) средней массой 310–320 кг в возрасте 14–15 мес.

Животные контрольной и опытных групп находились на основном сбалансированном рационе, в рацион бычкам опытных групп в составе концентрированного корма вносили сухие ферментные препараты: I опытная — грибную щелочную протеазу 25 г/т; II опытная — грибную щелочную протеазу 50 г/т; III опытная — грибную альфа-амилазу 25 г/т; IV опытная — грибную альфа-амилазу 50 г/т.

Протеаза грибная щелочная — сухой ферментный препарат протеолитического действия для расщепления белка с образованием пептидов и аминокислот. Протеаза является ферментом широкого применения и эффективно используется в технологических процессах различных отраслей: в производстве спирта и пива, синтетических моющих средств (СМС), хлебобулочных изделий, переработке мяса, рыбы и морепродуктов, кожевенном производстве. Создан в результате культивирования секционированного штамма бактерий *Bacillus Subtilis* последующей очисткой и консервированием. Ферментная активность — 50 000 ед/г (производитель «Биопрепарат», г. Воронеж, Россия.).

Альфа-амилаза грибная (амилоризин) — сухой ферментный препарат, полученный на основе штамма *Aspergillus oryzae*. Расщепляет молекулы крахмала с образованием мальтодекстринов, олигосахаридов и мальтозы — весь доступный крахмал. Ферментная активность — 2500 ед/г (производитель «Биопрепарат», г. Воронеж, Россия.).

Кормление подопытных животных было организовано с учетом рекомендаций А.П. Калашникова и др.¹. Структура и питательность рациона представлены в таблице 1.

Эксперимент проводился в четырех повторностях с использованием латинского квадрата² 4×4 в лаборатории биологических испытаний и экспертиз Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук.

Бычкам были установлены хронические фистулы рубца (фирма ANKOM, США) по методу А.А. Алиева (1998 г.). Отбор проб содержимого рубца производили спустя 12 часов после кормления через хроническую фистулу рубца (ANKOM, $d = 80$ мм) резиновым шлангом длиной 200 см и наружным диаметром 40 мм в термос объемом

¹ Калашников А.П., Фисинин В.И., Щеглов В.В., Клейменов Н.И. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие. 3-е изд. (перераб. и доп.). Москва, 2003.

² Любимцева О.Л. Блочное планирование эксперимента и анализ данных. Учебное пособие. Нижний Новгород. 2018; 31.

Таблица 1. Состав и питательность рациона, %
Table 1. Composition and nutritional value of the diet, %

Компонент	Содержание
Сено разнотравное	47,4
Сено бобовое	32,6
Зерновая смесь	19,0
Минералы	1,0
В рационе содержится, % СВ	
Сухое вещество	94,68
Сырой протеин	5,9
Сырая клетчатка	28,0
НДК	6,3
КДК	4,6
Гемицеллюлоза	1,65
Сырой жир	2,73
Органическое вещество	93,4
Кальций	0,51
Фосфор	0,37
Сырая зола	1,28
БЭВ	53,8

3 л. Время зависит от природы сбраживаемых субстратов и колеблется до 12–14 часов. Транспортировку осуществляли в термосах в течение 30 минут.

Лабораторные исследования рубцовой жидкости проводили в Испытательном центре ЦКП ФНЦ БСТ РАН. Уровень летучих жирных кислот (ЛЖК) в содержимом рубца определяли методом газовой хроматографии на хроматографе газовом «Кристаллюкс-4000М» (СКБ «Хроматек», Россия), определение форм азота по ГОСТ 26180-84³.

Коэффициент переваримости сухого вещества *in vitro* вычисляли как разницу масс образца корма с мешочком до и после инкубации по следующей формуле⁴:

$$K = (A - B) / C \times 100\%,$$

где: K — коэффициент переваримости сухого вещества корма, %; A — исходная масса 1-я (образец корма с мешочком), мг; B — масса после инкубации (образец корма с мешочком), мг; C — исходная масса 2-я (образец корма без массы мешочка), мг.

Определение форм азота производилось по ГОСТ 26889-86⁴. Массовую долю сухого вещества определяли по ГОСТ 31640⁵, сырого протеина — по ГОСТ 13496.4⁶, сырого жира — по ГОСТ 13496.15⁷, сырой клетчатки — по ГОСТ 31675⁸, сырой золы — по ГОСТ 26226⁹.

Морфологический анализ крови осуществляли на автоматическом гематологическом

анализаторе URIT-2900 VetPlus (URIT Electronic Group Co., Ltd, Китай). Биохимию сыворотки крови проводили на анализаторе CS-T240 (DIRUI Industrial Co., Ltd, Китай) с коммерческими наборами для ветеринарии (ЗАО «ДИАКОН-ДС», Россия).

Полученные результаты подвергали статистической обработке с помощью программы SPSS Statistics 20 («IBM», США), рассчитывали средние (M), среднеквадратичные ($\pm\sigma$) отклонения, ошибки стандартного отклонения ($\pm SE$). Для сравнения вариантов использовали непараметрический метод анализа. Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

По результату лабораторных исследований установлено, что концентрация ЛЖК у животных опытных групп возрастала на протяжении всего эксперимента (рис. 1). При разделении ЛЖК во все периоды отбора большая часть из всех кислот приходилась на уксусную и пропионовую. Уксусная кислота увеличилась у животных в I опытной группе на 15,98%, во II — на 13,45%, в III — на 50,05%, в IV — на 42,74% ($p \leq 0,01$) относительно контрольной группы. Это указывает на интенсивность бродильных процессов в рубце.

Наибольшая концентрация пропионовой кислоты установлена у животных III опытной группы, которым вводили альфа-амилазу грибную (25 г/т), и была выше контрольной группы на 71,31% ($p \leq 0,01$). Так как она образуется при сбраживании в рубце клетчатки, глюкозы, молочной кислоты, то часто используется для увеличения живой массы в период откорма бычков [8]. Следовательно, эти кислоты интенсивнее включались в синтетические процессы, необходимые для образования продукции. Это не могло не повлиять на концентрацию других показателей в организме животных [9].

Рубец рассматривают как бродильную камеру, в которой переваривается до 70% сухого вещества рациона [10]. Микрофлорой рубца переваривается от 50 до 70% сырой клетчатки рациона. Эти особенности, которые находят свое отражение в изменениях уровня белкового и небелкового азота в рубцовой жидкости, представлены в таблице 2.

Исследования азотистого обмена в рубце опытных животных показали, что количество общего азота в рубцовой жидкости было значительно выше у животных в I и IV опытных группах на 50,01% и 41,67% ($p \leq 0,05$) относительно контрольной группы.

³ ГОСТ 26180-84 Корма. Методы определения аммиачного азота и активной кислотности (рН).

⁴ ГОСТ 24230-80 Корма растительные. Метод определения переваримости *in vitro*.

⁵ ГОСТ 26889-86 Продукты пищевые и вкусовые. Общие указания по определению содержания азота методом Кельдаля.

⁶ ГОСТ 31640-2012 Межгосударственный стандарт корма. Методы определения содержания сухого вещества.

⁷ ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина.

⁸ ГОСТ 13496.15-2016 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира.

⁹ ГОСТ 31675-2012 Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации.

¹⁰ ГОСТ 26226-95 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы.

Таблица 2. Концентрация общего и небелкового азота в рубцовом содержимом, ммоль/л

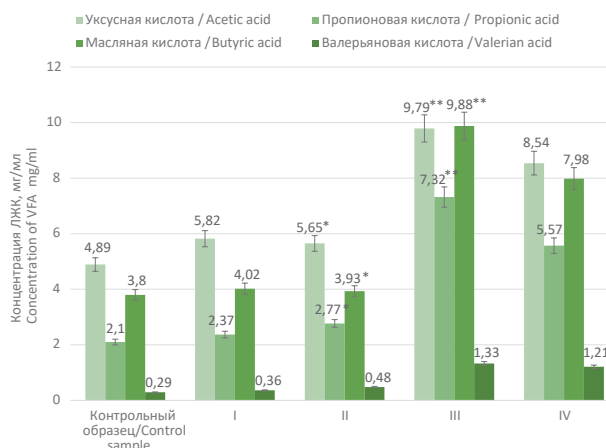
Table 2. Concentration of total and non-protein nitrogen in the scar content, mmol/l

Наименование показателей	Группы				
Формы азота	контрольная	I	II	III	IV
Общий	36,41 ± 1,35	72,83 ± 0,54*	56,03 ± 0,46*	60,24 ± 0,51*	62,43 ± 0,48*
Небелковый	4,72 ± 0,42	6,74 ± 0,12*	6,36 ± 0,16*	13,36 ± 0,09**	14,84 ± 0,08**
Белковый	42,44 ± 2,11	66,25 ± 1,56*	49,72 ± 2,32	46,95 ± 2,15	54,61 ± 2,47
Аммиачный	0,002 ± 0,0001	0,002 ± 0,0001	0,003 ± 0,0001	0,005 ± 0,000*	0,005 ± 0,0001*
Мочевинный	4,42 ± 0,02	7,72 ± 0,15*	1,94 ± 0,01*	3,81 ± 0,03	4,22 ± 0,02

Примечание: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$ при сравнении с контрольным образцом.

Рис. 1. Концентрация ЛЖК в рубцовом содержимом, мг/мл

Fig. 2. The concentration of LVH in the scar content, mg/ml



Примечание: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$ при сравнении с контрольным образцом.

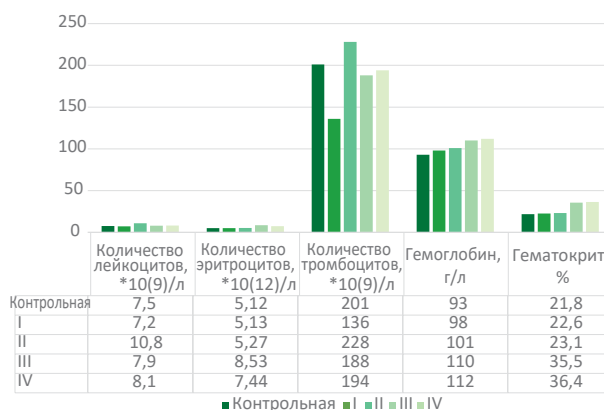
Интенсивное образование аммиака повлияло на содержание белкового азота. Его количество у животных I и IV опытных групп было равно 66,2 и 54,6 ммоль/л, что на 35,95% ($p \leq 0,05$) и 22,34% ($p \leq 0,05$) выше, чем у животных контрольной группы.

Переваримость питательных веществ является важным показателем питательной ценности кормов и состояния пищеварительной системы, зависящим от степени развития желудочно-кишечного тракта, количества потребленных питательных веществ и соотношения между отдельными компонентами кормов [11, 12].

Полученные данные показывают (табл. 3), что высокой способностью к перевариванию питательных веществ рационов отличались бычки I опытной группы. Они быстрее переваривали сухое вещество — на 6,28% ($p \leq 0,05$). Происходило

Рис. 2. Морфологические показатели крови бычков при включении в рацион бычков экзоферментов

Fig. 2. Morphological indices of steers blood at inclusion of exoenzymes in steers diet



повышение переваримости сырого протеина: в I опытной группе — на 7,97%, в IV опытной группе — на 7,23% ($p \leq 0,05$) (по сравнению с животными контрольной группы).

Морфологические показатели крови бычков при включении в рацион экзоферментов показали, что они находились в пределах физиологической нормы (рис. 2).

Биохимические показатели крови полностью отражают метаболизм белков, жиров, углеводов, витаминов, гормонов, водно-минеральные характеристики организма [13]. Они позволяют интерпретировать рост и развитие организма, понимать патогенез того или иного патологического состояния животного, помогают выявить скрытые формы заболевания и в конечном счете поставить объективный диагноз (табл. 4).

Увеличение концентрации общего белка в сыворотке крови животных происходило в I и II опытных группах, соответственно, на 13,11% и 11,75% ($p \leq 0,05$) относительно контрольной группы. Этот показатель меняется в зависимости от состава рациона и функционального состояния печени и почек животных [14].

Уровень альбумина в крови возрастал у бычков всех опытных групп, но наибольшей обла- дали III и IV опытные группы — на

Таблица 3. Коэффициенты переваримости питательных компонентов рациона при использовании экзоферментов, %

Table 3. Coefficients of digestibility of nutritional components of the diet when using exoenzymes, %

Параметры	Группы				
	контрольная	I	II	III	IV
Сухое вещество	65,71 ± 2,13	70,12 ± 2,22*	68,71 ± 1,89	68,34 ± 2,24	68,82 ± 2,11
Сырой жир	74,93 ± 1,89	82,73 ± 2,14	81,92 ± 2,65	77,85 ± 2,75	77,24 ± 1,87
Сырой протеин	57,72 ± 2,14	62,71 ± 2,22*	60,94 ± 1,99	60,83 ± 1,87	62,23 ± 2,11
Сырая клетчатка	51,24 ± 2,36	55,90 ± 2,15*	54,52 ± 1,99	54,26 ± 2,02	54,51 ± 1,89
Сырая зола	73,41 ± 3,21	77,32 ± 2,87	76,63 ± 2,45	82,17 ± 2,68*	81,32 ± 2,87

Таблица 4. Биохимические показатели крови бычков при включении в рацион бычков экзоферментов

Table 4. Biochemical parameters of the blood of bulls when exoenzymes are included in the diet of bulls

Показатели / референтные величины	Группа				
	контрольная	I	II	III	IV
Общий белок, г/л (60–86)	73,61 ± 2,76	84,72 ± 3,11*	83,40 ± 2,98	78,31 ± 2,78	82,43 ± 3,21
Альбумин, г/л (35–45)	29,12 ± 2,8	38,01 ± 3,1	35,04 ± 2,75	46,11 ± 3,45*	42,42 ± 2,78*
Глюкоза, ммоль/л (2,3–5,2)	3,64 ± 0,41	4,94 ± 0,65	4,31 ± 0,87	4,10 ± 0,51	4,81 ± 0,47
Триглицериды, ммоль/л (0,1–1,5)	0,28 ± 0,04	0,19 ± 0,01***	0,12 ± 0,01***	0,38 ± 0,03	0,41 ± 0,02
Холестерин, ммоль/л (1,30–4,42)	2,54 ± 0,16	1,92 ± 0,12	1,02 ± 0,25	1,74 ± 0,19	2,12 ± 0,25
Аланинаминотрансфераза, Ед/л (2–10)	22,81 ± 3,3	26,6 ± 2,91	30,0 ± 2,86	11,6 ± 1,11**	18,4 ± 2,15
Аспартатаминотрансфераза, Ед/л (30–80)	44,14 ± 5,6	105,81 ± 1,23**	106,80 ± 1,31**	46,74 ± 4,91	54,82 ± 4,98
Билирубин общий, мкмоль/л (0,17–5,13)	2,51 ± 0,32	1,05 ± 0,23	3,52 ± 0,42	6,03 ± 0,12*	5,81 ± 0,11*
Билирубин прямой, мкмоль/л (0–5,0)	1,11 ± 0,24	2,16 ± 0,09**	1,04 ± 0,21	1,32 ± 0,31	1,84 ± 0,28
Лактатдегидрогеназа, Ед/л (1,30–4,42)	2984,01 ± 118,4	3659,02 ± 110,1	3694,10 ± 99,8	3454,05 ± 101,2	3612,04 ± 100,2
α -Амилаза, Ед/л (12–107)	418,02 ± 24,8	358,01 ± 22,3	679,02 ± 15,3*	422,04 ± 23,8	384,01 ± 26,3
Липаза, Ед/л (13–200)	18,13 ± 0,88	8,06 ± 0,23***	5,01 ± 0,12***	30,42 ± 0,32*	28,24 ± 0,35**
Мочевина, ммоль/л (3,3–5,8)	3,42 ± 0,68	5,50 ± 0,56	5,71 ± 0,71	5,54 ± 0,72	5,82 ± 0,69
Креатинин, мкмоль/л (62–97)	73,83 ± 2,18	93,12 ± 2,11	100,71 ± 1,65*	62,42 ± 1,89	72,54 ± 2,32
Гамма-глутамилтрансфераза, Ед/л	19,82 ± 0,98	24,03 ± 0,89	20,04 ± 0,87	21,42 ± 0,73	20,86 ± 0,77
Мочевая кислота, мкмоль/л (10,5–83,5)	16,25 ± 1,02	21,23 ± 0,99	16,56 ± 1,00	43,77 ± 2,13*	54,23 ± 2,18*

Примечание: * результаты являются статистически достоверными ($p \leq 0,05$).

36,88% и 31,37% ($p \leq 0,05$) выше контроля соответственно. Именно альбумины являются резервом аминокислот для синтеза других специфических белков организма при дефиците белков в рационе [15].

Повышение концентрации билирубина наблюдалось в III опытной группе животных — на 58,17% ($p \leq 0,05$) по сравнению с контролем. Именно он показывает состояние печени и интенсивность гемолитических процессов в организме [16].

Введение экзогенных ферментов приводило к увеличению всех ферментов в опытных группах. Возрастание активности АЛТ и АСТ в крови отмечают при острых гепатитах, поражениях почек, мышц, а также при гемолитических анемиях, когда происходит усиленный распад эритроцитов [17, 18].

Происходило значительное повышение активности амилазы сыворотки крови животного

во II опытной группе — на 38,44%, в III опытной группе — на 37,85% ($p \leq 0,05$), что свидетельствует о развитии острого панкреатита. Активность амилазы сыворотки крови часто повышена при гломерулонефритах, нефрозах [19]. В I и IV опытных группах данный показатель был снижен на 17,88% и 9,90% ($p \leq 0,05$) соответственно.

Выводы/Conclusions

Результаты показали, что лучшая дозировка введения протеазы грибной щелочной составила 25 г/т, а альфа-амилазы грибной — 50 г/т. Их присутствие в рационе приводило к изменению ЛЖК в рубцовом содержимом, улучшению перевариваемости сухого вещества и сырого протеина, что способствует высокому уровню протекания процессов рубцового пищеварения. Это значительно отражалось на морфологических и биохимических показателях крови животных.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00061.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Azad M.A.K., Sarker M., Li T., Yin J. Probiotic Species in the Modulation of Gut Microbiota: An Overview. *BioMed Research International*. 2018; 2018: 9478630. <https://doi.org/10.1155/2018/9478630>
2. Dao M.C. et al. *Akkermansia muciniphila* and improved metabolic health during a dietary intervention in obesity: relationship with gut microbiome richness and ecology. *Gut*. 2016; 65(3): 426–436. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2014-308778>
3. Grechikina V.V., Lebedev S.V., Miroshnikov I.S., Ryazanov V.A., Sheida E.V., Korolev V.L. Justification of rational and safe biotechnological methods of using fat additives from vegetable raw materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 624: 012160. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012160>

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors made an equal contribution to the work.

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

The authors declare no conflict of interest.

FUNDING

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 23-16-00061.

4. Gholizadeh P. et al. Microbial balance in the intestinal microbiota and its association with diabetes, obesity and allergic disease. *Microbial Pathogenesis*. 2019; 127: 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.11.031>
5. Gowd V., Xie L., Zheng X., Chen W. Dietary fibers as emerging nutritional factors against diabetes: focus on the involvement of gut microbiota. *Critical Reviews in Biotechnology*. 2019; 39(4): 524–540. <https://doi.org/10.1080/07388551.2019.1576025>
6. Holscher H.D., Caporaso J.G., Hooda S., Brulc J.M., Fahey G.C.Jr., Swanson K.S. Fiber supplementation influences phylogenetic structure and functional capacity of the human intestinal microbiome: follow-up of a randomized controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2015; 101(1): 55–64. <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.092064>

7. Hosseindoust A. *et al.* A dose–response study to evaluate the effects of pH-stable β -mannanase derived from *Trichoderma citrinoviride* on growth performance, nutrient retention, and intestine morphology in broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*. 2019; 18(1): 147–154.
<https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1500872>
8. Makki K., Deehan E.C., Walter J., Bäckhed F. The Impact of Dietary Fiber on Gut Microbiota in Host Health and Disease. *Cell Host & Microbe*. 2018; 23(6): 705–715.
<https://doi.org/10.1016/j.chom.2018.05.012>
9. de la Cuesta-Zuluaga J. *et al.* Metformin Is Associated With Higher Relative Abundance of Mucin-Degrading *Akkermansia muciniphila* and Several Short-Chain Fatty Acid–Producing Microbiota in the Gut. *Diabetes Care*. 2017; 40(1): 54–62.
<https://doi.org/10.2337/dc16-1324>
10. Jha R., Foughse J.M., Tiwari U.P., Li L., Willing B.P. Dietary Fiber and Intestinal Health of Monogastric Animals. *Frontiers in Veterinary Science*. 2019; 6: 48.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00048>
11. Koçer B., Bozkurt M., Ege G., Tüzün A.E. Effects of sunflower meal supplementation in the diet on productive performance, egg quality and gastrointestinal tract traits of laying hens. *British Poultry Science*. 2021; 62(1): 101–109.
<https://doi.org/10.1080/00071668.2020.1814202>
12. Lebedev S. *et al.* Use of chromium nanoparticles as a protector of digestive enzymes and biochemical parameters for various sources of fat in the diet of calves. *AIMS Agriculture and Food*. 2020; 6(1): 14–31.
<https://doi.org/10.3934/agrfood.2021002>
13. Li Y., Yang H., Xu L., Wang Z., Zhao Y., Chen X. Effects of dietary fiber levels on cecal microbiota composition in geese. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2018; 31(8): 1285–1290.
<https://doi.org/10.5713/ajas.17.0915>
14. Sadeghi A., Toghyani M., Tabeidian S.A., Foroozandeh A.D., Ghalamkari G. Efficacy of dietary supplemental insoluble fibrous materials in ameliorating adverse effects of coccidial challenge in broiler chickens. *Archives of Animal Nutrition*. 2020; 74(5): 362–379.
<https://doi.org/10.1080/1745039X.2020.1764811>
15. Tsigos C., Chrousos G.P. Hypothalamic-pituitary-adrenal axis, neuroendocrine factors and stress. *Journal of Psychosomatic Research*. 2022; 53(4): 865–871.
[https://doi.org/10.1016/S0022-3999\(02\)00429-4](https://doi.org/10.1016/S0022-3999(02)00429-4)
16. Zeevi D. *et al.* Personalized Nutrition by Prediction of Glycemic Responses. *Cell*. 2015; 163(5): 1079–1094.
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.11.001>
17. Zeng M.Y., Inohara N., Nuñez G. Mechanisms of inflammation-driven bacterial dysbiosis in the gut. *Mucosal Immunology*. 2017; 10(1): 18–26.
<https://doi.org/10.1038/mi.2016.75>
18. Zhang F. *et al.* Response of gut microbiota in type 2 diabetes to hypoglycemic agents. *Endocrine*. 2019; 66(3): 485–493.
<https://doi.org/10.1007/s12020-019-02041-5>
19. Zhao L. *et al.* Gut bacteria selectively promoted by dietary fibers alleviate type 2 diabetes. *Science*. 2018; 359(6380): 1151–1156.
<https://doi.org/10.1126/science.aao5774>

ОБ АВТОРАХ

Виктория Владимировна Гречкина^{1,3}

кандидат биологических наук
Viktoria1985too@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1159-0531>

Елена Владимировна Шейда^{1,2}

кандидат биологических наук
elena-shejjda@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2586-613>

Ольга Вилориевна Кван^{1,2}

кандидат биологических наук
kwan111@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Александр Дмитриевич Шевченко¹

кандидат биологических наук
ad.shevchenko@yarvet.ru
<https://orcid.org/0009-0005-5320-0086>

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, ул. 9 Января, 29, Оренбург, 460000, Россия

²Оренбургский государственный университет, пр-т Победы, 13, Оренбург, 460018, Россия

³Оренбургский государственный аграрный университет, ул. Челюскинцев, 18, Оренбург, 460014, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Viktoria Vladimirovna Grechkina^{1,3}

Candidate of Biological Sciences
Viktoria1985too@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Elena Vladimirovna Sheida^{1,2}

Candidate of Biological Sciences
elena-snejjda@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-2586-613>

Olga Vilorievna Kvan^{1,2}

Candidate of Biological Sciences
kwan111@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Alekhander Dmitrievich Shevchenko¹

Candidate of Biological Sciences
ad.shevchenko@yarvet.ru
<https://orcid.org/0009-0005-5320-0086>

¹Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 January 9th Str., Orenburg, 460000, Russia

²Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russia

³Orenburg State Agrarian University, 18 Chelyuskintsev Str., Orenburg, 460014, Russia