УДК 636.084:636.084.4

Научная статья

Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-60-66

В.В. Гречкина[1, 3]
Е.В. Шейда[1, 2]
О.В. Кван[1, 2] ✉
Л.Ю. Топурия[3]

[1]Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия
[2]Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия
[3]Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

✉ *kwan111@yandex.ru*

Поступила в редакцию: 28.01.2025
Одобрена после рецензирования: 08.05.2025
Принята к публикации: 22.05.2025

© Гречкина В.В., Шейда Е.В., Кван О.В., Топурия Л.Ю.

Влияние фермента липазы на метаболизм в рубце и усвояемость питательных веществ в организме бычков 14–15-месячного возраста

РЕЗЮМЕ

Липаза является ферментом, который отвечает за расщепление жиров на глицерин и свободные жирные кислоты. Эти продукты потом всасываются в желудочно-кишечном тракте животного и участвуют в образовании специфичных веществ жирового состава для каждого вида, которые затем используются организмом как источник энергии или откладываются в подлежащих тканях и внутренних органах.

Цель исследования — изучить влияние экзофермента липазы в дозировках 25 г/т и 50 г/т на метаболизм в рубце и усвояемость питательных веществ в организме жвачных.

Объекты исследований — рубцовая жидкость (РЖ), полученная от бычков казахской белоголовой породы средней массой 310–320 кг в возрасте 14–15 месяцев (4 гол. в каждой группе). Экзоферментный препарат: I опытная группа — липаза 25 г/т; II опытная группа — липаза 50 г/т.

При увеличении концентрации липазы в кормах повышается значительно уровень общего азота в рубцовом содержимом, во II опытной группе этот показатель составил 99,42 ммоль/л, что выше на 24,55% относительно I опытной группы и на 50,60% ($p \leq 0,05$) по сравнению с контролем. Переваримость сухого вещества в I опытной группе была выше на 6,09% ($p \leq 0,05$), сырого протеина — на 5,22%, сырой клетчатки — на 6,10% ($p \leq 0,05$), а также уровню усвоения эссенциальных и макроэлементов относительно контрольной группы. Таким образом, липаза является мощным стимулятором пищеварения для животных. Это может сказываться на росте и развитии бычков и снижать стоимость кормов, так как эффективность использования жира, содержащегося в основном сырье рациона, значительно повышается.

Ключевые слова: экзоферменты, кормление, метаболизм рубца, летучие жирные кислоты, метаболиты азота, липаза, коэффициенты переваримости, элементный обмен

Для цитирования: Гречкина В.В., Шейда Е.В., Кван О.В., Топурия Л.Ю. Влияние фермента липазы на метаболизм в рубце и усвояемость питательных веществ в организме бычков 14–15-месячного возраста. *Аграрная наука*. 2025; 395(06): 60–66. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-60-66

Research article

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-60-66

Viktoria V. Grechkina[1, 3]
Elena V. Sheida[1, 2]
Olga V. Kvan[1, 2] ✉
Larisa Yu. Topuria[3]

[1]Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia
[2]Orenburg State University, Orenburg, Russia
[3]Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

✉ *kwan111@yandex.ru*

Received by the editorial office: 28.01.2025
Accepted in revised: 08.05.2025
Accepted for publication: 22.05.2025

© Grechkina V.V., Sheida E.V., Kvan O.V., Topuria L.Yu.

The effect of the lipase enzyme on rumen metabolism and nutrient absorption in bull calves aged 14–15 months

ABSTRACT

Lipase is an enzyme that is responsible for the breakdown of fats into glycerol and free fatty acids. These products are then absorbed into the gastrointestinal tract of the animal and are involved in the formation of specific fat compositions for each species, which are then used by the body as an energy source or deposited in the underlying tissues and internal organs.

The aim of the study was to study the effect of lipase exoenzyme in dosages of 25 g/t and 50 g/t on rumen metabolism and nutrient absorption in ruminants.

The objects of research are cicatricial fluid (RJ) obtained from Kazakh white-headed bull calves with an average weight of 310–320 kg at the age of 14–15 months (4 heads in each group). Exoenzyme preparation: experimental group I — lipase 25 g/t; experimental group II — lipase 50 g/t.

With an increase in the concentration of lipase in feed, the level of total nitrogen in the rumen content increases significantly, in the II experimental group this indicator was 99.42 mmol/l, which is 24.55% higher than in the I experimental group and 50.60% ($p < 0.05$) higher than in the control. The digestibility of dry matter in the first experimental group was higher by 6.09% ($p < 0.05$), crude protein — by 5.22%, crude fiber — by 6.10% ($p < 0.05$), as well as the level of assimilation of essential and macronutrients relative to the control group. Thus, lipase is a powerful digestive stimulant for animals. This can affect the growth and development of calves and reduce the cost of feed, as the efficiency of using fat, which is contained in the main raw materials of the diet, increases significantly.

Key words: exoenzymes, feeding, rumen metabolism, volatile fatty acids, nitrogen metabolites, lipase, digestibility coefficients, elemental metabolism

For citation: Grechkina V.V., Sheida E.V., Kvan O.V., Topuria L.Yu. The effect of the lipase enzyme on rumen metabolism and nutrient absorption in bull calves aged 14–15 months. *Agrarian science*. 2025; 395(06): 60–66 (in Russian). https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-60-66

Введение/Introduction

Формирование рационов питания зависит от специфических особенностей производственной цепочки в животноводстве и местных условий. Многогранный характер этих переменных постоянно ставит перед экспертами сложные задачи, направленные на снижение затрат и повышение рентабельности производства. Обычно решения достигаются путем изменения кормовых рационов, что требует постоянной адаптации рубцового пищеварения крупного рогатого скота к каждому нововведению [1].

В области разработки экзогенных ферментов для использования в животноводстве на сегодняшний день достигнуты значительные успехи. Внедрение ферментов в рационы питания может привнести множество преимуществ, включая улучшение переваривания корма и увеличение продуктивности животных [2]. Более того, это может способствовать снижению выбросов парниковых газов. Ферменты способствуют эффективному усвоению питательных веществ, что приводит к заметному снижению объема метана, производимого животными. Эти белковые катализаторы помогают в ходе определенных химических реакций в желудочно-кишечном тракте, эффективно расщепляя сложные питательные вещества на легкоусвояемые элементы [3].

Переваривание жиров представляет собой процесс, в ходе которого жиры гидролизуются до глицерина и жирных кислот благодаря действию липаз — ферментов, вырабатываемых в желудке, тонком кишечнике, печени и поджелудочной железе. В желудке образуется небольшое количество липаз, которые способны расщеплять жиры, содержащие короткоцепочечные жирные кислоты [4]. Липаза расщепляет жиры, жирные кислоты и жирорастворимые витамины *A, D, E, K*, превращая их в энергию [5].

В то же время организм молодого животного не всегда способен в полной мере усваивать этот важный питательный элемент. Это объясняется недостатком эндогенных желчных кислот и ферментов, таких как липаза, которые вырабатывает организм. Для решения данной проблемы часто в рацион добавляют разнообразные эмульгаторы, среди которых лецитин занимает особое место [6]. Он помогает разбивать жировые капли на крайне мелкие частицы, что в свою очередь значительно увеличивает их поверхность взаимодействия с липазами. Липаза в свою очередь является ферментом, который отвечает за расщепление жиров на глицерин и свободные жирные кислоты. Эти продукты потом всасываются в желудочно-кишечном тракте животного и участвуют в образовании специфичного жирового состава для каждого вида, которые затем используются организмом как источник энергии или откладываются в подлежащих тканях и внутренних органах [7].

Изначально предполагалось, что экзогенные ферменты меняют усвояемость корма у жвачных, воздействуя на корм до его употребления либо улучшая рубцовое и (или) послерубцовое переваривание. Воздействие экзогенных ферментов на корм может заключаться как в выделении растворимых углеводов, так и в комплексном действии — устранении структурных барьеров, которые ограничивают микробиальное расщепление в рубце [8].

В самом рубце экзогенные ферменты могут воздействовать непосредственно на корм или косвенным образом стимулировать пищеварительную деятельность, действуя совместно с микроорганизмами рубца. Кроме того, они могут усиливать активность ферментов в помете, что способствует более быстрому разложению отходов. В конечном итоге цель использования любых ферментов — улучшить усвояемость корма у жвачных и снизить количество отходов, но механизм действия экзогенных ферментов в организмах жвачных однозначно сложен и еще недостаточно изучен [9].

В последнее время возрастают интерес и актуальность темы использования экзогенной кормовой липазы, которая способствует повышению эффективности усвоения жиров, содержащихся в корме, как у животных, так и у птиц. Это позволяет значительно улучшить экономические результаты за счет снижения расхода масла в рационе [10]. Высокий уровень фермента может означать, что у животного панкреатит, воспаление поджелудочной железы или другой тип заболевания поджелудочной железы [11, 12].

Цель исследования — изучить влияние экзофермента липазы в дозировках 25 г/т и 50 г/т на метаболизм в рубце и усвояемость питательных веществ в организме жвачных.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили с 2023 по 2024 г. 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). Объект исследования — рубцовая жидкость (РЖ), полученная от бычков казахской белоголовой породы средней массой 310–320 кг в возрасте 14–15 месяцев (4 гол. в каждой группе).

Липаза (*Lipase*) — сухой ферментный препарат, полученный в результате культивирования секционированного штамма гриба *Aspergillius Niger*. Ферментная активность — 2 млн ед/г (производитель «Биопрепарат», г. Воронеж, Россия).

Обслуживание животных и экспериментальные исследования осуществляли в соответствии с требованиями инструкций и рекомендаций к выполнению биологических исследований. При проведении исследований были предприняты меры,

чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшить количество исследованных опытных образцов[1].

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 3 л. Транспортировку осуществляли в термосах в течение 30 минут.

Исследования *in vivo* были проведены на бычках казахской белоголовой породы. Животные контрольной и опытных групп находились на основном сбалансированном рационе по рекомендациям А.П. Калашникова[2]. В рацион бычкам опытной группы вносили липазу: I опытная — 25 г/т, II опытная — 50 г/т. Дозировка в эксперименте была выбрана на основании ранее полученных данных *in vitro*, где испытывался спектр дозировок липазы: 5, 10, 25 и 50 г/т. Лучшие результаты показали 25 г/т и 50 г/т.

Лабораторные исследования рубцовой жидкости проводили в ЦКП ФНЦ биологических систем и агротехнологий Российской академии наук. 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 26180-84[3]. Переваримость определяли с помощью «искусственного рубца» KPL 01 и термостата электрического суховоздушного ТС-1/80 СПУ (ОАО «Смоленское СКТБ СПУ», Россия). Коэффициент переваримости сухого вещества *in vitro* вычисляли как разницу масс образца корма с мешочком до и после инкубации по следующей формуле[2]:

$$K = \frac{A - B}{C} \times 100\%,$$

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

Определение форм азота — по ГОСТ 26889-86[5]. Массовую долю сухого вещества определяли по ГОСТ 31640[6], сырого протеина — по ГОСТ 13496.4[7], сырого жира — по ГОСТ 13496.15[8], сырой клетчатки — по ГОСТ 31675[9], сырой золы — по ГОСТ 26226[10].

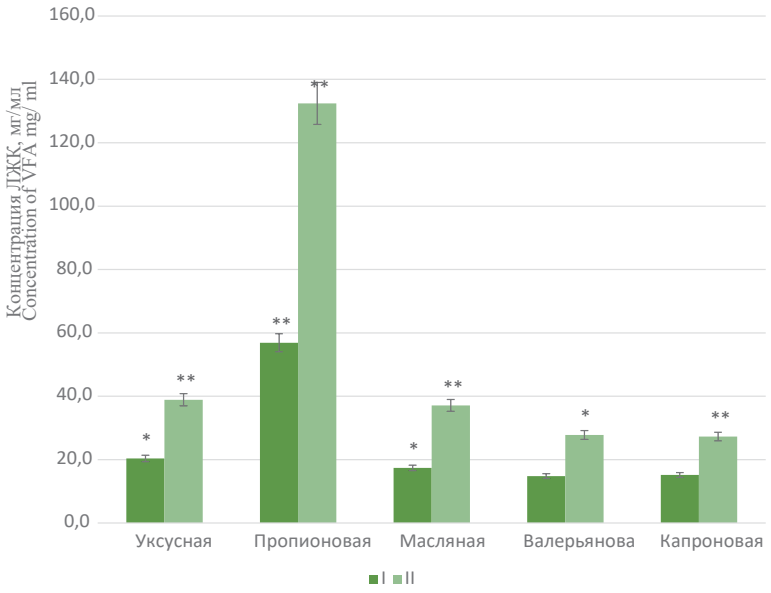
Оценку содержания элементов в рубцовой жидкости определяли на масс-спектрометре Elan 9000 (Perkin Elmer, США) и на атомно-эмиссионном спектрометре Optima 2000V (Perkin Elmer, США). Для озоления использовали микроволновую систему разложения Multiwave 3000 (Anton Paar, Австрия).

Численные данные были обработаны с помощью программы SPSS Statistics 20 («IBM», США), рассчитывали средние (M), среднеквадратичные отклонения ($\pm\sigma$), 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

Было установлено (рис. 1), что во II опытной группе животных из ЛЖК преобладала пропионовая кислота — ее концентрация была выше на 57,03% ($p \leq 0,01$). Уксусная кислота на 38,87%

Рис. 1. Концентрация ЛЖК в рубцовом содержимом относительно контроля, %
Fig. 2. The concentration of LVH in the scar content relative to the control, %



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

[1] Сарымсакова Б.Е., Розенсон Р.И., Баттакова Ж.Е. Руководство по этике научных исследований: методические рекомендации. Астана. 2007; 98.
[2] Калашников А.П., Фисинин В.И., Щеглова В.В., Клейменова Н.И. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справ. пособие. 3-е изд., доп. и перераб. Москва. 2003; 456.
[3] ГОСТ 26180-84 Корма. Методы определения аммиачного азота и активной кислотности (pH).
[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 Кьельдаля.
[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.

($p \leq 0,05$) выше относительно контрольной группы. Масляная, валерьяновая и капроновая кислоты изменялись незначительно в опытных группах.

Основной функцией липазы в животноводстве является обеспечение энергией путем окисления. Энергия, которую она содержит, в 2,25 раза больше, чем у углеводов, что может удовлетворить потребности животных в более высокой концентрации энергии [13].

При увеличении концентрации липазы в кормах значительно повышается уровень общего азота в рубцовом содержимом, во II опытной группе этот показатель составил 99,42 ммоль/л, что выше на 24,55% относительно I опытной группы и на 50,60% ($p \leq 0,05$) по сравнению с контролем (табл. 1).

Коэффициент переваримости питательных компонентов рациона был значительно выше в I опытной группе животных (табл. 2). Переваримость сухого вещества была выше на 6,09% ($p \leq 0,05$), сырого протеина — на 5,22%, сырой клетчатки — на 6,10% ($p \leq 0,05$) относительно контрольной группы. Во II опытной группе эти показатели были ниже по сравнению с другими исследуемыми группами, что может говорить о негативном влиянии высокой дозы липазы на организм.

Таблица 1. **Концентрация общего и небелкового азота в рубцовом содержимом, ммоль/л**

Table 1. **Concentration of total and non-protein nitrogen in the scar content, mmol/l**

Наименование показателей формы азота	Группа		
	контрольная	I опытная	II опытная
Общий	49,12 ± 6,81	75,04 ± 7,54	99,42 ± 7,65*
Небелковый	8,41 ± 1,23	13,53 ± 2,03	15,42 ± 2,18
Белковый	40,72 ± 4,87	61,54 ± 4,07	84,06 ± 3,87
Аммиачный	0,001 ± 0,002	0,001 ± 0,002	0,004 ± 0,002
Мочевинный	3,41 ± 0,55	3,82 ± 0,53	6,04 ± 0,49

Примечание: * $p \leq 0,05$ по сравнению с контрольным образцом.

Таблица 2. **Коэффициенты переваримости питательных компонентов рациона при использовании фермента липазы, %**

Table 2. **Coefficients of digestibility of nutritional components of the diet when using the lipase enzyme, %**

Наименование показателей	Группа		
	контрольная	I опытная	II опытная
Сухое вещество	64,08 ± 1,12	69,05 ± 1,14*	68,07 ± 1,21
Сырой жир	73,41 ± 2,11	76,82 ± 1,99	79,42 ± 1,87*
Сырой протеин	56,31 ± 1,32	59,44 ± 1,11*	58,62 ± 1,24
Сырая клетчатка	50,83 ± 1,99	54,15 ± 1,87	52,73 ± 1,65
Сырая зола	72,41 ± 2,02	72,32 ± 1,98	69,94 ± 2,23

Примечание: * $p \leq 0,05$ по сравнению с контрольным образцом.

Экзогенные ферменты могут оказывать различное воздействие как на микрофлору ЖКТ, так и на общее состояние жвачных животных [14, 15]. Следовательно, существует высокая вероятность, что физиологические реакции организма на действие экзогенных ферментов зависят от многих факторов [16].

Результаты по содержанию химических элементов в химусе рубца бычков представлены в таблице 3. Было установлено, что во II опытной группе бычков происходило накопление токсичных элементов в несколько раз больше по сравнению с контрольной группой и I опытной. Уровень *Pb* увеличивался на 43,90%, *As* — на 55,91%, *Cd* — на 24,32%, *Ni* — на 24,78% ($p \leq 0,05$).

Экзогенные ферменты могут оказывать различное воздействие как на микрофлору ЖКТ, так и на общее состояние жвачных животных [17]. Следовательно, существует высокая вероятность, что физиологические реакции организма на действие экзогенных ферментов зависят от многих факторов. Липазы являются ферментами, которые классически используются для того, чтобы провести гидролиз триацилглицеринов, сопровождающийся образованием свободных жирных кислот [18] (рис. 2).

Таблица 3. **Содержание химических элементов в химусе рубца бычков при использовании в рационе фермента липазы, мг/кг**

Table 3. **The content of chemical elements in the chyme of the rumen of gobies when using the lipase enzyme in the diet, mg/kg**

Элемент	Допустимые диапазоны элементов	Группа		
		контрольная	I опытная	II опытная
Li	1,24–2,08	1,95 ± 0,07	1,52 ± 0,10	1,64 ± 0,10
Be	0,0015–0,0055	0,0045 ± 0,0011	0,0020 ± 0,0015	0,0020 ± 0,003
B	25–56	31,93 ± 1,15	33,76 ± 1,59	34,90 ± 1,22
Na	4000–7000	6154,00 ± 258,00	5962,00 ± 274,00	6906,00 ± 352,00
Mg	400–1100	539,00 ± 23,00	679,00 ± 29,00*	579,00 ± 28,00
Al	140–200	158,86 ± 6,67	165,33 ± 7,94	170,23 ± 27,37
P	1500–3500	2328,00 ± 88,00	2978,00 ± 140,00	3313,00 ± 139,00
K	2000–5000	3666,00 ± 165,00	4058,00 ± 174,00	4088,00 ± 192,00
Ca	1500–3000	2467,00 ± 104,00	2106,00 ± 84,00	2632,00 ± 105,00*
Mn	40–60	58,95 ± 2,42	54,08 ± 2,54*	51,65 ± 2,38
Co	0,10–0,50	0,20 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,34 ± 0,02*
Ni	1,0–3,0	1,73 ± 0,07	1,43 ± 0,06	2,30 ± 0,09*
Cu	1,0–5,0	2,84 ± 0,14	3,44 ± 0,18	3,27 ± 0,17
Se	0,05–0,35	0,14 ± 0,01	0,09 ± 0,05*	0,19 ± 0,04
Br	1,10–1,90	1,34 ± 0,21	1,61 ± 0,13	1,51 ± 0,17
Sr	10,50–30,00	14,75 ± 0,66	13,75 ± 0,67	19,01 ± 0,91*
Mo	5–10	7,46 ± 0,33	7,85 ± 0,35	7,39 ± 0,27
Cd	0,005–0,050	0,028 ± 0,002	0,030 ± 0,004	0,037 ± 0,002*
Sn	0,010–0,050	0,026 ± 0,001	0,020 ± 0,001	0,035 ± 0,001
Sb	0,005–0,030	0,009 ± 0,001	0,012 ± 0,001	0,019 ± 0,001*
I	0,20–0,300	0,27 ± 0,02	0,243 ± 0,011*	0,267 ± 0,018
Ba	20–70	36,89 ± 1,66	47,66 ± 2,00	54,67 ± 2,19*
Hg	0,05–0,030	0,013 ± 0,001	0,016 ± 0,001	0,011 ± 0,001
Pb	0,15–0,50	0,23 ± 0,01	0,25 ± 0,012	0,11 ± 0,017*
Bi	0,010–0,090	0,085 ± 0,0006	0,010 ± 0,001*	0,015 ± 0,001
Cr	1,50–10,0	3,23 ± 0,10	1,77 ± 0,08	4,10 ± 0,14*
Fe	100–500	133,22 ± 4,13	160,04 ± 4,80	477,71 ± 15,29*
Zn	5–50	18,29 ± 0,73	20,25 ± 0,85	19,01 ± 0,74
As	0,05–0,0100	0,097 ± 0,004	0,012 ± 0,002*	0,022 ± 0,001

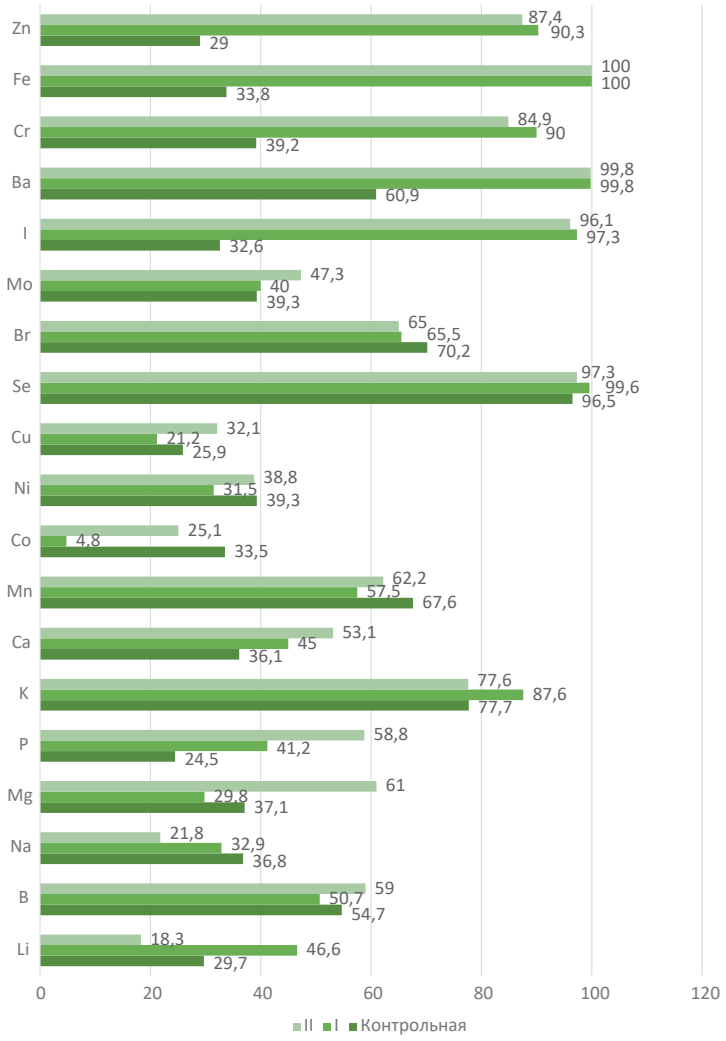
Усвоение Fe в опытных группах составила 100%, Ba — 99,8% относительно животных контрольной группы. Животные I опытной группы по усвояемости эссенциальных и макроэлементов в организме превосходили II опытную группу по таким элементам, как Zn (3,32%), Cr (6,01%), K (11,42%), Na (33,74%), Li (60,73%), Se (2,36%), на фоне снижения Cu (33,96%), Mo (15,43%), Ni (18,81%), Mn (7,56%) ($p \leq 0,05$).

В Оренбургской области проводили исследования на наличие тяжелых металлов в организме животных из разных районов. Оценивали концентрацию кадмия, свинца, меди и цинка в мышечной ткани и внутренних органах крупного рогатого скота. Обнаружено превышение Pb, Cd, Cu в мышцах, печени, сердце и почках крупного рогатого скота. Это объяснялось наличием в данной зоне Урала медных рудных месторождений, что отражалось на повышенном накоплении тяжелых металлов в организме животных [19]. В хозяйствах, находящихся вблизи от металлургических предприятий, телята вместе с молозивом получали Ni в 15,8 раза больше, Fe — в 32 раза, Pb — в 17,8 раза в сравнении с ПДК, что приводило к токсикозам и падежу телят [20].

Таким образом, липаза участвует в процессе усвоения жиров, который связан с общими процессами метаболизма, где важную роль играют минеральные вещества. Это свидетельствует о том, что использование липазы обеспечивает снижение токсичных веществ на неблагоприятных экологических территориях, улучшение и ускорение пищеварительного процесса в организме животных, а также повышение интенсивности их роста [21].

Рис. 2. Усвояемость эссенциальных и макроэлементов в организме опытных бычков, %

Fig. 2. The digestibility of essential and macronutrients in the body of experienced bulls, %



Выводы/Conclusions

Результаты исследования показали, что при использовании липазы в дозировках 25 г/т и 50 г/т происходят изменения в метаболизме рубца и усвояемости питательных веществ животных. У бычков II опытной группы отмечен высокий уровень летучих жирных кислот и метаболитов азота. Животные I опытной группы имели значительно выше показатели по переваримости питательных компонентов рациона, а также по уровню усвоения эссенциальных и макроэлементов.

Таким образом, липаза является мощным стимулятором пищеварения для животных. Это может сказаться на росте и развитии бычков и снижать стоимость кормов, так как эффективность использования жира, содержащегося в основном сырье рациона, значительно повышается.

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.

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.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

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

FUNDING

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dai Z. *et al.* Fermentation techniques in feed production. Bazer F.W., Lamb G.C., Wu G. (eds.). Animal Agriculture. Sustainability, Challenges and Innovations. *Academic Press*. 2020; 407–429. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00024-0

2. Bajpai P. Lignocellulosic Biomass in Biotechnology. *Elsevier*. 2021; xvi: 232. ISBN 978-0-12-821889-1 https://doi.org/10.1016/C2019-0-04439-1

3. Silva L.G. *et al.* Effects of flaxseed and chia seed on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and long-chain fatty acid flow in a dual-flow continuous culture system. *Journal of Animal Science*. 2016; 94(4): 1600–1609. https://doi.org/10.2527/jas.2015-9750

4. Wang C., Shi C., Zhang Y., Song D., Lu Z., Wang Y. Microbiota in fermented feed and swine gut. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2018; 102(7): 2941–2948. https://doi.org/10.1007/s00253-018-8829-4

5. Gündel S.d.S. *et al.* Nanoemulsions containing *Cymbopogon flexuosus* essential oil: Development, characterization, stability study and evaluation of antimicrobial and antibiofilm activities. *Microbial Pathogenesis*. 2018; 118: 268–276. https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.03.043

6. Liang J. *et al.* Promising biological conversion of lignocellulosic biomass to renewable energy with rumen microorganisms: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020; 134: 110335. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110335

7. Nagler M., Kozjek K., Etemadi M., Insam H., Podmirseg S.M. Simple yet effective: Microbial and biotechnological benefits of rumen liquid addition to lignocellulose-degrading biogas plants. *Journal of Biotechnology*. 2019; 300: 1–10. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.05.004

8. Chi C.-H., Cho S.-J. Improvement of bioactivity of soybean meal by solid-state fermentation with *Bacillus amyloliquefaciens* versus *Lactobacillus spp.* and *Saccharomyces cerevisiae*. *LWT — Food Science and Technology*. 2016; 68: 619–625. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.002

9. Heath R.D., Cockerell C., Mankoo R., Ibdah J.A., Tahan V. Fecal microbiota transplantation and its potential therapeutic uses in gastro-0intestinal disorders. *Northern Clinics of Istanbul*. 2018; 5(1): 79–88. https://doi.org/10.14744/nci.2017.10692

10. Kiesz M.E. Efektywność stosowania fermentowanej poekstrakcyjnej śruty sojowej lub (i) rzepakowej w żywieniu loch i warchlaków. Autoreferat pracy doktorskiej. Lublin. 2019; 28.

11. Ran T., Gomaa W.M.S., Shen Y.Z., Saleem A.M., Yang W.Z., McAllister T.A. Use of naturally sourced feed additives (lactobacillus fermentation products and enzymes) in growing and finishing steers: Effects on performance, carcass characteristics and blood metabolites. *Animal Feed Science and Technology*. 2019; 254: 114190. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.05.013

12. Nguyen L.N. *et al.* Application of rumen and anaerobic sludge microbes for bio harvesting from lignocellulosic biomass. *Chemosphere*. 2019; 228: 702–708. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.159

13. Azlan P.M., Jahromi M.F., Ariff M.O., Ebrahimi M., Candyrine S.C.L., Liang J.B. *Aspergillus terreus* treated rice straw suppresses methane production and enhances feed digestibility in goats. *Tropical Animal Health and Production*. 2018; 50(3): 565–571. https://doi.org/10.1007/s11250-017-1470-x

14. Шейда Е.В., Дускаев Г.К., Мирошников С.А., Мирошников И.С., Проскурин Д.А., Овечкин М.В. Проектирование и эксплуатация биореактора для переработки отходов растениеводства. *Животноводство и кормопроизводство*. 2023; 106(3): 179–189. https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-179

15. Allin K.H. *et al.* Aberrant intestinal microbiota in individuals with prediabetes. *Diabetologia.* 2018; 61(4): 810–820. https://doi.org/10.1007/s00125-018-4550-1

16. Meijnikman A.S., Gerdes V.E., Nieuwdorp M., Herrema H. Evaluating Causality of Gut Microbiota in Obesity and Diabetes in Humans. *Endocrine Reviews*. 2018; 39(2): 133–153. https://doi.org/10.1210/er.2017-00192

17. Liu B. *et al.* Response of Gut Microbiota to Dietary Fiber and Metabolic Interaction With SCFAs in Piglets. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 2344. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02344

18. Стурова Ю.Г., Гришкова А.В. Исследование активности прегастральных липаз. *Ползуновский вестник*. 2019; (4): 29–33. https://elibrary.ru/zvmnlt

19. Сальникова Е.В., Мирошников А.М., Осипова Е.А., Кудакаев И.Р., Жоров Д.С., Кустова А.С. Тяжелые металлы в цепи «корм — животное — человек» на примере Оренбургской области. *Вестник Оренбургского государственного университета.* 2013; (6): 10–12. https://elibrary.ru/raqosj

REFERENCES

1. Dai Z. *et al.* Fermentation techniques in feed production. Bazer F.W., Lamb G.C., Wu G. (eds.). Animal Agriculture. Sustainability, Challenges and Innovations. *Academic Press*. 2020; 407–429. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00024-0

2. Bajpai P. Lignocellulosic Biomass in Biotechnology. *Elsevier*. 2021; xvi: 232. ISBN 978-0-12-821889-1 https://doi.org/10.1016/C2019-0-04439-1

3. Silva L.G. *et al.* Effects of flaxseed and chia seed on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and long-chain fatty acid flow in a dual-flow continuous culture system. *Journal of Animal Science*. 2016; 94(4): 1600–1609. https://doi.org/10.2527/jas.2015-9750

4. Wang C., Shi C., Zhang Y., Song D., Lu Z., Wang Y. Microbiota in fermented feed and swine gut. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2018; 102(7): 2941–2948. https://doi.org/10.1007/s00253-018-8829-4

5. Gündel S.d.S. *et al.* Nanoemulsions containing *Cymbopogon flexuosus* essential oil: Development, characterization, stability study and evaluation of antimicrobial and antibiofilm activities. *Microbial Pathogenesis*. 2018; 118: 268–276. https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.03.043

6. Liang J. *et al.* Promising biological conversion of lignocellulosic biomass to renewable energy with rumen microorganisms: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020; 134: 110335. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110335

7. Nagler M., Kozjek K., Etemadi M., Insam H., Podmirseg S.M. Simple yet effective: Microbial and biotechnological benefits of rumen liquid addition to lignocellulose-degrading biogas plants. *Journal of Biotechnology*. 2019; 300: 1–10. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.05.004

8. Chi C.-H., Cho S.-J. Improvement of bioactivity of soybean meal by solid-state fermentation with *Bacillus amyloliquefaciens* versus *Lactobacillus spp*. and *Saccharomyces cerevisiae*. *LWT — Food Science and Technology*. 2016; 68: 619–625. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.002

9. Heath R.D., Cockerell C., Mankoo R., Ibdah J.A., Tahan V. Fecal microbiota transplantation and its potential therapeutic uses in gastro-intestinal disorders. *Northern Clinics of Istanbul*. 2018; 5(1): 79–88. https://doi.org/10.14744/nci.2017.10692

10. Kiesz M.E. The effectiveness of fermented soybean meal and (or) rapeseed meal in sows and weaners feeding. Summary of PhD thesis. Lublin. 2019; 28 (in Polish).

11. Ran T., Gomaa W.M.S., Shen Y.Z., Saleem A.M., Yang W.Z., McAllister T.A. Use of naturally sourced feed additives (lactobacillus fermentation products and enzymes) in growing and finishing steers: Effects on performance, carcass characteristics and blood metabolites. *Animal Feed Science and Technology*. 2019; 254: 114190. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.05.013

12. Nguyen L.N. *et al.* Application of rumen and anaerobic sludge microbes for bio harvesting from lignocellulosic biomass. *Chemosphere*. 2019; 228: 702–708. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.159

13. Azlan P.M., Jahromi M.F., Ariff M.O., Ebrahimi M., Candyrine S.C.L., Liang J.B. *Aspergillus terreus* treated rice straw suppresses methane production and enhances feed digestibility in goats. *Tropical Animal Health and Production*. 2018; 50(3): 565–571. https://doi.org/10.1007/s11250-017-1470-x

14. Sheida E.V., Duskaev G.K., Miroshnikov S.A., Miroshnikov I.S., Proskurin D.A., Ovechkin M.V. Design and operation of a bioreactor for processing plant waste. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023; 106(3): 179–189 (in Russian). https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-179

15. Allin K.H. *et al.* Aberrant intestinal microbiota in individuals with prediabetes. *Diabetologia.* 2018; 61(4): 810–820. https://doi.org/10.1007/s00125-018-4550-1

16. Meijnikman A.S., Gerdes V.E., Nieuwdorp M., Herrema H. Evaluating Causality of Gut Microbiota in Obesity and Diabetes in Humans. *Endocrine Reviews*. 2018; 39(2): 133–153. https://doi.org/10.1210/er.2017-00192

17. Liu B. *et al.* Response of Gut Microbiota to Dietary Fiber and Metabolic Interaction With SCFAs in Piglets. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 2344. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02344

18. Štúrova Yu.G., Grishkova A.V. Study of activity of pregastric lipases. *Polzunovskiy vestnik*. 2019; (4): 29–33 (in Russian). https://elibrary.ru/zvmnlt

19. Salnikova E.V., Miroshnikov A.M., Osipova E.A., Kudakaev I.R., Zhorov D.S., Kustova A.S. Heavy metals in chains “animal — feed — man” in case of Orenburg region. *Vestnik of the Orenburg state university*. 2013; (6): 10–12 (in Russian). https://elibrary.ru/raqosj

20. Дускаев Г.К., Мирошников С.А., Сизова Е.А., Лебедев С.В., Нотова С.В. Влияние тяжелых металлов на организм животных и окружающую среду обитания (обзор). *Вестник мясного скотоводства*. 2014; (3): 7–10. https://elibrary.ru/ssyijr

21. Щербинин С. Экзогенная липаза для удешевления кормов. *Животноводство России*. 2022; (10): 52–53. https://elibrary.ru/gvmgak

20. Duskayev G.K., Miroshnikov S.A., Sizova E.A., Lebedev S.V., Notova S.V. The influence of heavy metals on the organism of animals and the environment (review).*Herald of beef cattle breeding*. 2014; (3): 7–10 (in Russian). https://elibrary.ru/ssyijr

21. Shcherbinin S. Exogenous lipase for forage cost reduction. *Animal Husbandry of Russia*. 2022; (10): 52–53 (in Russian). https://elibrary.ru/gvmgak

ОБ АВТОРАХ

Виктория Владимировна Гречкина[1, 2]
кандидат биологических наук
Viktoria1985too@mail.ru,
https://orcid.org/0000-0002-1159-0531

Елена Владимировна Шейда[1, 3]
кандидат биологических наук
elena-shejjda@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-2586-613

Ольга Вилориевна Кван[1, 3]
кандидат биологических наук
kwan111@yandex.ru,
https://orcid.org/0000-0003-0561-7002

Лариса Юрьевна Топурия[3]
доктор биологических наук, профессор
golaso@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0002-7881-2602

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

[2]Оренбургский государственный аграрный университет, ул. Челюскинцев, 18, Оренбург, 460014, Россия

[3]Оренбургский государственный университет, пр-т Победы, 13, Оренбург, 460018, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Viktoria Vladimirovna Grechkina[1, 2]
Candidate of Biological Sciences
Viktoria1985too@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-0561-7002

Elena Vladimirovna Sheida[1, 3]
Candidate of Biological Sciences
elena-snejjda@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-2586-613

Olga Vilorievna Kvan[1, 3]
Candidate of Biological Sciences
kwan111@yandex.ru,
https://orcid.org/0000-0003-0561-7002

Larisa Yurievna Topuria[3]
Doctor of Biological Sciences, Professor
golaso@rambler.ru
https://orcid.org/0000-0002-7881-2602

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

[2]Orenburg State Agrarian University, 18 Chelyuskintsev Str., Orenburg, 460014, Russia

[3]Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russia

ПРОДУКТЫ • ИННОВАЦИИ • УСЛУГИ • ЛОГИСТИКА

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ B2B ВЫСТАВКА

GLOBAL FRESH MARKET: VEGETABLES & FRUITS

11-13 НОЯБРЯ 2025
Гостиный Двор, Москва

Global Fresh MARKET

- Полный цикл производства «от поля до прилавка» на единой площадке
- Прямой диалог с ключевыми игроками рынка
- Обширная деловая программа с участием экспертов мирового уровня:
  - 110+ приглашенных спикеров
  - 30 отраслевых мероприятий по овощеводству и садоводству
- Конкурс студенческих работ для молодых специалистов в АПК

Контакты
+7 (495) 481-29-19
business@gfmexpo.com
www.gfmexpo.com

РЕКЛАМА

Соорганизатор
национальный ПЛОДООВОЩНОЙ СОЮЗ

При поддержке

Реклама