

УДК 636.084.41

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-39-44

Е.В. Шейда^{1, 2}О.В. Кван^{1, 2} ✉О.В. Шошина¹Ю.А. Сечнев¹Л.Ю. Топурия³

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: 05.03.2025

Одобрена после рецензирования: 11.07.2025

Принята к публикации: 26.07.2025

© Шейда Е.В., Кван О.В., Шошина О.В., Сечнев Ю.А., Топурия Л.Ю.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-39-44

Elena V. Sheida^{1, 2}Olga V. Kvan^{1, 2} ✉Oksana V. Shoshina¹Yuri A. Sechnev¹Larisa Yu. Topuria³

¹ Federal Scientific Center of Biological Systems and Agro-technologies 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: 05.03.2025

Accepted in revised: 11.07.2025

Accepted for publication: 26.07.2025

© Sheida E.V., Kvan O.V., Shoshina O.V., Sechnev Yu.A., Topuria L.Yu.

Влияние протеолитических ферментов на степень усвоения питательных веществ в организме бычков

РЕЗЮМЕ

Ферментные добавки получили широкое распространение в кормлении сельскохозяйственных животных по всему миру. Кормление ферментами-катализаторами часто сопровождается увеличением потребления корма, ввиду того что повышаются вкусовые качества рациона за счет сахаров, высвобождаемых при гидролизе клетчатки кормов. После попадания ферментов в желудок происходит увеличение скорости переваривания за счет гидролитической активности в рубце, отчего уменьшается заполнение кишечника, а переваримость увеличивается.

Цель исследования — изучить особенности усвоения питательных веществ рациона бычками при включении в рацион фермента протеазы.

Объекты исследований — бычки казахской белоголовой породы средней массой 320–330 кг в возрасте 14–15 месяцев (количество 8 голов). Дополнение рациона бычков казахской белоголовой породы экзоферментом протеазы грибной в дозировке 50 г/гол оказало положительный эффект на механизмы обмена веществ в организме бычков. В результате чего было зафиксировано повышение переваримости питательных веществ рационов опытной группы. Повышалась усвояемость микроэлементов: Li на 2,0%, B на 0,4%, Se на 1,9%, Br на 2,7%, I на 24,6%, Zn на 1,0%; ухудшалось усвоение: Mn на 19,2%, Co на 29,8%, Ni на 0,8%, Cu на 2,8%, Mo на 4,8%, Cr на 6,8%, Fe на 1,5%. Токсические микроэлементы (Sr, Sn, Al, Cd, Hg, Pb) под воздействием протеазы грибной лучше удалялись из организма животных.

Ключевые слова: бычки, рацион, протеаза, усвоение, макроэлементы, микроэлементы

Для цитирования: Шейда Е.В., Кван О.В., Шошина О.В., Сечнев Ю.А., Топурия Л.Ю. Влияние протеолитических ферментов на степень усвоения питательных веществ в организме бычков. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 39–44.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-39-44>

The effect of proteolytic enzymes on the degree of absorption of nutrients in the body of bull calves

ABSTRACT

Enzyme supplements are widely used in the feeding of farm animals all over the world. Feeding with enzyme catalysts is often accompanied by an increase in feed intake due to the fact that the palatability of the diet increases due to the sugars released during the hydrolysis of feed fiber. After the enzymes enter the stomach, the rate of digestion increases due to the hydrolytic activity in the rumen, which reduces intestinal filling and increases digestibility.

The aim of the study was to study the features of the absorption of nutrients in the diet of bull calves when the protease enzyme is included in the diet.

The objects of research are Kazakh white-headed bulls an average weight of 320–330 kg at the age of 14–15 months (number of 8 heads). Supplementing the diet of Kazakh white-headed bull calves with a mushroom protease exoenzyme at a dosage of 50 g/head had a positive effect on the metabolic mechanisms in the bull calves. As a result, an increase in the digestibility of nutrients in the diets of the experimental group was recorded. The digestibility of trace elements increased: Li by 2.0%, B by 0.4%, Se by 1.9%, Br by 2.7%, I by 24.6%, Zn by 1.0%; assimilation worsened: Mn by 19.2%, Co by 29.8%, Ni by 0.8%, Cu by 2.8%, Mo by 4.8%, Cr by 6.8%, Fe by 1.5%. Toxic trace elements (Sr, Sn, Al, Cd, Hg, Pb) were better removed from the animal body under the influence of fungal protease.

Key words: kazakh white-headed bulls, diet, protease, assimilation, macronutrients, trace elements

For citation: Sheida E.V., Kvan O.V., Shoshina O.V., Sechnev Yu.A., Topuria L.Yu. The effect of proteolytic enzymes on the degree of absorption of nutrients in the body of bull calves. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 39–44 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-39-44>

Введение/Introduction

Ферментные кормовые добавки получили широкое распространение в практике кормления сельскохозяйственных животных. Их использование у крупного рогатого скота способствует улучшению пищеварительных процессов и снижению затрат на выращивание, поскольку корма составляют основную часть производственных расходов, что особенно важно для производителей говядины. Однако для достижения максимальной эффективности работы энзимов, а также получения экономической выгоды необходимо тщательно подбирать их состав и правильно использовать [1].

Ферменты — это биологические катализаторы, незаменимые компоненты пищеварительного процесса у животных. Их роль в переваривании корма настолько значительна, что напрямую влияет на усвояемость питательных веществ и продуктивность сельскохозяйственных животных [2].

Экзогенные протеазы (обычно из микробиологических или бактериальных и грибковых источников) всё чаще используются в рационах сельскохозяйственных животных для усиления гидролиза кормового белка [3].

Введение экзогенных протеаз в рацион молодняка часто приводит не только к улучшению усвоения белка, но и остальных питательных веществ. Эти протеазы разрушают ингибиторы эндогенных протеаз и лектины, содержащиеся в кормах. Щелочным протеазам отводится важная роль ввиду обширной субстратной специфичности и усиленной деятельности на протяжении всего желудочно-кишечного тракта. В эту категорию включены и кератиназы, которые способны расщеплять белки, недостижимые для деятельности протеаз и пептидаз в организме животных. Кератиназы разлагают агглютинины, глицинин и β -конглицинин, а кроме того, белки соединительной ткани, которые обладают стойкостью к воздействию ферментов желудочно-кишечного тракта и некоторых экзогенных протеаз.

Лучше всего использовать протеазы с кератинолитической активностью в качестве кормовых добавок [4], которые в жидкой или гранулированной форме добавляются в общий смешанный рацион, сено, силос, концентраты, добавки или премиксы и повышают доступность питательных веществ в клеточной стенке [5, 6].

Научные исследования, подтверждающие точный механизм действия и эффективность кормовых протеаз в различных производственных условиях, всё еще продолжаются [3]. Способ действия каждого фермента индивидуален и взаимозависим, его использование в сочетании с составами кормов должно осуществляться рационально и осторожно для достижения максимального положительного эффекта. Ферменты прямо или косвенно воздействуют на питательные вещества, оказывая основное воздействие на субстрат, на который они направлены, а также вызывают побочные эффекты [7].

Кормление ферментами часто сопровождается увеличением потребления корма, ввиду того что повышаются вкусовые качества рациона за счет сахаров, высвобождаемых при гидролизе клетчатки кормов. После попадания ферментов в желудок происходит увеличение скорости переваривания за счет гидролитической активности в рубце, отчего уменьшается заполнение кишечника, а переваримость увеличивается [8, 9].

Добавки с ферментами, обладающими протеазной активностью, разработаны для улучшения переваривания, а также усвоения белков и аминокислот из рациона для животных [2]. На рынке кормовых добавок доминируют протеазы, полученные из бактерий. Ферменты обширно используются в различных отраслях, включая производство спирта и пива, хлебобулочных изделий, синтетических моющих средств, в кожевенном производстве, в переработке мяса, рыбы и морепродуктов [1]. Грибная щелочная протеаза — ферментный препарат, обладающий протеолитической активностью, который способствует расщеплению белков на пептиды и аминокислоты.

Добавление ферментов в рационы полигастрических животных оказывает положительный эффект на усвоение питательных веществ, в результате чего крупному рогатому скоту не приходится скармливать повышенное количество корма для достижения высоких продуктивных показателей. При уменьшенном потреблении сухого вещества улучшается усвояемость в рубце вследствие медленного продвижения корма. Если же ферменты добавляются в рацион и потребление сухого вещества снижается, то животные получают больше питательных веществ и энергии благодаря повышенной эффективности переваривания, даже несмотря на удлинение времени нахождения корма в рубце [10].

Зарубежные ученые [11] проводили исследования по изучению воздействия фермента в рационе животных на степень усвоения эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов, что значительно улучшало их биодоступность в кишечнике и способствовало эффективному использованию.

Избыток или недостаток этих элементов может быть источником различных заболеваний [12]. Информации о роли в организме условно-эссенциальных микроэлементов не так много, но известно, что они выполняют различные функции в организме. Состав этой группы элементов непостоянен, новые открытия способны перенести один из них в группу эссенциальных. О последствиях дефицита этих микроэлементов сведений недостаточно [13].

Таким образом, добавление ферментов в рационы жвачных животных может повысить усвояемость волокнистых кормов, снизить затраты на кормление за счет сокращения использования зерна, широко используемого в рационах, и повысить продуктивность и конверсию корма [14].

Цель данного исследования — изучение особенностей усвоения питательных веществ и химических элементов бычками при включении в рацион фермента протеазы.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования были выполнены с 2023 по 2024 год в отделе кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. профессора С.Г. Леушина лаборатории биологических испытаний и экспертиз Центра нанотехнологий в сельском хозяйстве и Центра коллективного пользования с использованием материально-технической и методической базы ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (ФНЦ БСТ РАН).

Объект исследования — бычки казахской белоголовой породы средней массой 320–330 кг в возрасте 14–15 месяцев (количество — 4 гол.). Животным были установлены фистулы рубца по Басову. Для *in vivo* исследований были сформированы две группы животных (по 4 бычка в каждой) — контрольная и опытная. Контрольная группа получала основной рацион, опытная группа в дополнение получала экзофермент протеаза грибная («Биопрепарат», г. Воронеж, Россия) в дозировке 50 г/гол, который задавали в составе концентрированных кормов путем ступенчатого смешивания.

Исследования проводили в четырех повторностях с использованием латинского квадрата 4×4 в лаборатории биологических испытаний и экспертиз Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук¹.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования выполняли в соответствии с «Позицией по этике использования животных в исследованиях, выполняемых при поддержке Российского научного фонда»².

При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Кормление подопытных животных было организовано с учетом рекомендаций А.П. Калашникова и др.³ Рацион для опытных животных состоял из сена разнотравного лугового (80%), зерновой смеси (19%), премикса ПК-60 (1%), в рационе содержались сухое вещество (94,68%), сырой протеин (5,9%), сырая клетчатка (28%), НДК (6,3%),

КДК (4,6%), гемицеллюлоза (1,65%), сырой жир (2,73%), органическое вещество (93,4%), кальция (0,51%), фосфор (0,37%), сырая зола (1,28%), БЭВ (53,8%).

Зоотехнический анализ кормов и выделенного кала проводили по общепринятым методикам и ГОСТам, определяли массовую долю сухого вещества⁴, сырого протеина⁵, сырого жира⁶, сырой клетчатки⁷, сырой золы⁸, кальция⁹.

Лабораторные исследования выполняли с использованием приборной базы ЦКП БСТ РАН (<https://xn----btbumgw.xn--p1ai/>). Элементный состав основных компонентов рациона и выделенного кала был изучен с использованием атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии (АЭС-ИСП и МС-ИСП). Содержание макроэлементов основного рациона представлено в таблице 1.

Таблица 1. Содержание макроэлементов в зерне и сене, входящие в состав опытного рациона бычков казахской белоголовой породы, мг/кг

Table 1. The content of macronutrients in grain and hay, which are part of the experimental diet of Kazakh white-headed bull calves, mg / kg

Показатель	Зерносмесь	Сено
<i>Макроэлементы</i>		
Na	45,0 ± 2,1	58,00 ± 4,02
Mg	1230,0 ± 52,1	1518,1 ± 73,2
P	3062,3 ± 122,4	1052,4 ± 46,1
K	320,2 ± 14,2	5416,6 ± 244,1
Ca	320,2 ± 14,2	3636,2 ± 196,2
<i>Эссенциальные и условно-эссенциальные элементы</i>		
Li	0,050 ± 0,004	0,38 ± 0,02
Be	0,0005 ± 0,0001	0,004 ± 0,001
B	31,2 ± 0,9	37,1 ± 2,4
Mn	38,3 ± 1,6	116,7 ± 6,1
Co	0,033 ± 0,002	0,104 ± 0,004
Ni	0,64 ± 0,02	1,66 ± 0,06
Cu	3,05 ± 0,16	2,32 ± 0,09
Se	0,240 ± 0,007	1,25 ± 0,11
Br	4,32 ± 0,40	3,47 ± 0,34
Mo	6,95 ± 0,29	7,58 ± 0,69
I	0,16 ± 0,01	0,32 ± 0,03
Ba	6,65 ± 0,25	69,7 ± 3,07
Bi	0,0070 ± 0,0002	0,0090 ± 0,0006
Cr	0,33 ± 0,01	2,1 ± 0,09
Fe	51,3 ± 2,31	154,3 ± 5,09
Zn	15,4 ± 0,55	13,4 ± 0,45
As	0,04 ± 0,02	0,096 ± 0,008
<i>Токсичные элементы</i>		
Al	43,3 ± 1,73	165,5 ± 7,78
Sr	2,54 ± 0,09	17,9 ± 0,91
Cd	0,056 ± 0,004	0,030 ± 0,004
Sn	0,0099 ± 0,0006	0,040 ± 0,002
Sb	0,0055 ± 0,0003	0,0130 ± 0,0011
Hg	0,0035 ± 0,0009	0,0135 ± 0,0009
Pb	0,130 ± 0,005	0,320 ± 0,016

¹ Овсянников А.И. Основы опытного дела в животноводстве: учебники и учеб. пособия для высших с.-х. учеб. заведений. Москва. 1976; 304.

² Модельный закон Межпарламентской ассамблеи государств — участников Содружества Независимых Государств «Об обращении с животными», ст. 20 (Постановление МА государств — участников СНГ от 31.10.2007 № 29-17), Руководство по работе с лабораторными животными

(http://fnbst.ru/?page_id=3553) и The Guide for the Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press, Washington, D.C. 1996).

³ 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.

⁴ ГОСТ 31640-2012 Корма. Методы определения содержания сухого вещества.

⁵ ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина.

⁶ ГОСТ 13496.15-2016 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира.

⁷ ГОСТ 31675-2012 Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации.

⁸ ГОСТ 26226-95 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы.

⁹ ГОСТ 26570-95 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения кальция.

При выполнении исследований методами АЭС-ИСП и МС-ИСП озоление биосубстратов проводили с использованием микроволновой системы разложения MD-2000 (США). Анализ содержания химических элементов в полученной золе оценивали с использованием масс-спектрометра Elan 9000 (Perkin Elmer, США) и атомно-эмиссионного спектрометра Optima 2000 V (Perkin Elmer, США).

Коэффициенты переваримости питательных веществ рационов рассчитывали путем отношения количества питательных веществ, переваренных животным, к количеству питательных веществ, принятых в течение суток¹⁰.

Статистический анализ выполняли с использованием методик ANOVA (программный пакет Statistica 10.0, Statsoftinc и Microsoft Excel (США). Статистическая обработка включала расчет среднего значения (М) и стандартные ошибки среднего ($\pm$ SEM).

Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента. Уровень значимой разницы был установлен на $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Препараты на основе ферментов оказывают положительный эффект на пищеварение и усвоение питательных веществ через стимуляцию развития микроорганизмов в рубце, тем самым увеличивая активность пищеварительных ферментов, снижая при этом окислительные процессы и рост патогенных бактерий [11].

В процессе анализа переваримости питательных веществ корма установили, что коэффициенты переваримости у бычков опытной группы были выше, чем в контроле, по сухому веществу на 2,7%, по органическому веществу на 3,2%, по сырому протеину на 6,8%, по сырой клетчатке на 3,0%, по сырой золе на 2,9%, по сырому жиру на 2,8% (табл. 2).

В ходе исследования был выполнен микронутриентный анализ рациона и выделенного кала, после чего рассчитали элементную усвояемость в организме экспериментальных животных. Так, с дополнением к рациону экзофермента протеазы грибной в дозировке 50 г/гол в организме бычков снижалось усвоение следующих макроэлементов: Na — на 6,0%, Mg — на 6,2%, P — на 5,6%, K — на 0,1%, Ca — на 3,9% (по сравнению с контрольной группой) (табл. 3).

При оценке результатов исследований эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов установили, что с добавлением грибной протеазы в рацион повышалась усвояемость Li (на 2,0%), B (на 0,4%), Se (на 1,9%), Br (на 2,7%), I (на 24,6%) ($p \leq 0,01$), Zn (на 1,0%). Данная добавка привела к снижению усвояемости

Таблица 2. Коэффициенты переваримости питательных веществ корма в организме бычков при использовании в рационе фермента протеазы, %

Table 2. Coefficients of digestibility of feed nutrients in the body of calves when using the protease enzyme in the diet, %

Показатель	Группы	
	контрольная	опытная
Сухое вещество	65,9 $\pm$ 2,1	68,6 $\pm$ 3,02
Органическое вещество	68,2 $\pm$ 3,1	71,4 $\pm$ 2,1
Сырой протеин	75,1 $\pm$ 2,9	81,9 $\pm$ 2,6
Сырая клетчатка	57,9 $\pm$ 1,1	60,9 $\pm$ 1,3
Сырая зола	52,3 $\pm$ 1,2	55,2 $\pm$ 1,3
Сырой жир	74,1 $\pm$ 2,1	76,9 $\pm$ 2,1

Таблица 3. Усвояемость макроэлементов в организме бычков, %

Table 3. The digestibility of trace elements in the body of bulls, %

	Контрольная	Опытная
Na	-16,6	-10,6
Mg	17,4	11,2
P	26,4	20,8
K	69,7	69,6
Ca	-14,4	-10,5

Таблица 4. Усвояемость эссенциальных и условно-эссенциальных элементов в организме бычков, %

Table 4. The digestibility of essential and conditionally essential elements in the body of bulls, %

	Контрольная	Опытная
Li	10,2	12,2
B	41,0	41,4
Mn	51,5	32,3
Co	-51,9	-22,1
Ni	10,9	10,1
Cu	11,9	9,1
Se	56,3	58,2
Br	24,2	26,9
Mo	22,1	17,3
I	4,3	28,9
Cr	-18,5	-11,7
Fe	-4,3	-2,8
Zn	13,2	14,2

таких микроэлементов, как Mn (на 19,2%), Co (на 29,8%), Ni (на 0,8%), Cu (на 2,8%), Mo (на 4,8%), Cr (на 6,8%), Fe (на 1,5%), по сравнению с контролем соответственно (табл. 4).

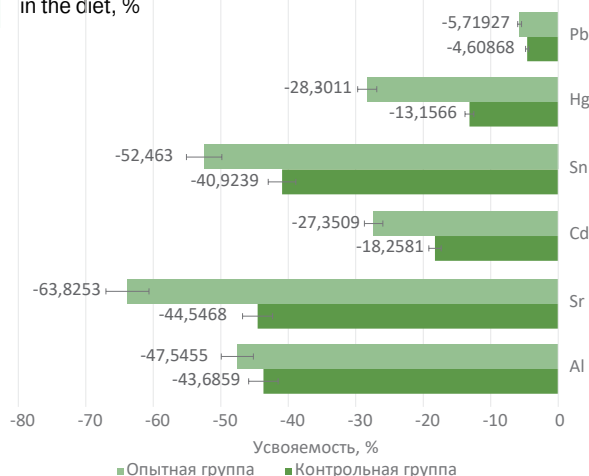
Так, с дополнением к рациону экзофермента протеазы грибной в дозировке 50 г/гол выведение из организма токсических элементов в опытной группе было лучше, чем в контроле, по микроэлементам Sr (на 19,3%), Sn (на 11,5%), Al (на 3,9%), Cd (на 9,1%), Hg (на 15,1%), Pb (на 1,1%).

Полученные данные подтверждают, что экзогенные протеолитические ферменты способны повышать общую усвояемость сухого вещества, органического вещества и нейтрально-детергентной клетчатки в желудочно-кишечном тракте [16]. Кроме того, ферментные препараты могут сохранять свою активность не только в верхних, но и в нижних отделах желудочно-кишечного тракта,

¹⁰ Балакирев Н.А., Харламов А.В., Левахин Г.И., Дускаев Г.К., Кизаев М.А., Бабицева И.А., Мироненко С.И. Пособие для проведения научно-исследовательских работ в зоотехнии: учебно-методическое пособие. Москва — Оренбург. 2016; 227.

Рис. 1. Усвояемость токсичных элементов в организме опытных животных при включении в рацион фермента протеазы, %

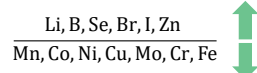
Fig. 1. The digestibility of toxic elements in the body of experimental animals when the protease enzyme is included in the diet, %



снижая вязкость перевариваемого продукта, в результате чего происходят ускорение процессов разложения корма и улучшение усвоения питательных веществ [9].

В ходе собственного эксперимента установили, что экзофермент протеаза грибная в дозировке 50 г/гол изменяет ретенцию эссенциальных

и условно-эссенциальных микроэлементов в следующем порядке:



Выводы/Conclusions

Введение протеазы грибной в рацион бычков казахской белоголовой породы в дозировке 50 г/гол оказало положительное воздействие на метаболизм веществ в организме. В результате чего отмечено повышение переваримости питательных веществ опытной группы по сухому веществу (на 2,7%), органическому веществу (на 3,2%), сырому протеину (на 6,8%), сырой клетчатке (на 3,0%), сырой золе (на 2,9%), сырому жиру (на 2,8%).

Фермент протеаза грибная способствовал снижению усвоения таких макроэлементов, как Na (на 6,0%), Mg (на 6,2%), P (на 5,6%), K (на 0,1%), Ca (на 3,9%). Повышалась усвояемость микроэлементов: Li — на 2,0%, B — на 0,4%, Se — на 1,9%, Br — на 2,7%, I — на 24,6% ($p \leq 0,01$), Zn — на 1,0%, ухудшалось усвоение Mn (на 19,2%), Co (на 29,8%), Ni (на 0,8%), Cu (на 2,8%), Mo (на 4,8%), Cr (на 6,8%), Fe (на 1,5%).

В организме бычков опытной группы отмечено достоверное снижение уровня токсических микроэлементов (на 19,3%), Sn (на 11,5%), Al (на 3,9%), Cd (на 9,1%), Hg (на 15,1%), Pb (на 1,1%).

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 средства 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

- Ветвицкая А. Качественные ферментные препараты — осязательная выгода. *Эффективное животноводство*. 2020; (8): 86–92. <https://elibrary.ru/sejwpq>
- Ильяшенко А.Н. Обзор кормовых добавок с протеазной активностью. *Эффективное животноводство*. 2024; (6): 22–23. <https://elibrary.ru/hqvlcb>
- Yu S., Bech Thøgersen J., Kragh K.M. Comparative study of protease hydrolysis reaction demonstrating Normalized Peptide Bond Cleavage Frequency and Protease Substrate Breadth Index. *PLoS ONE*. 2020; 15(9): e0239080. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239080>
- Крюков В.С., Зиновьев С.В., Некрасов Р.В. Протеазы в питании моногастрических животных. *Аграрная наука*. 2021; (1): 30–38. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-30-38>
- Mendoza G.D., Loera-Corral O., Plata-Pérez F.X., Hernández-García P.A., Ramírez-Mella M. Considerations on the Use of Exogenous Fibrolytic Enzymes to Improve Forage Utilization. *The Scientific World Journal*. 2014: 247437. <https://doi.org/10.1155/2014/247437>
- Peters A., Lebzien P., Meyer U., Borchert U., Bulang M., Flachowsky G. Effect of exogenous fibrolytic enzymes on ruminal fermentation and nutrient digestion in dairy cows. *Archives of Animal Nutrition*. 2010; 64(3): 221–237. <https://doi.org/10.1080/17450391003693142>
- Anil et al. A Review on the Role of Exogenous Fibrolytic Enzymes in Ruminant Nutrition. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 2022; 41(36): 45–58.
- El-Bordeny N.E., El-Sayed H.M., Saied H., Mahran A.T. Evaluation of exogenous fibrolytic enzyme supplementation to improve feed utilization in ruminants. *Journal of Environmental Science*. 2017; 39(1): 69–90.

REFERENCES

- Vetvitskaya A. High-quality enzyme preparations are a tangible benefit. *Effektivnoye zhivotnovodstvo*. 2020; (8): 86–92 (in Russian). <https://elibrary.ru/sejwpq>
- Ilyashenko A.N. Review of feed additives with protease activity. *Effektivnoye zhivotnovodstvo*. 2024; (6): 22–23 (in Russian). <https://elibrary.ru/hqvlcb>
- Yu S., Bech Thøgersen J., Kragh K.M. Comparative study of protease hydrolysis reaction demonstrating Normalized Peptide Bond Cleavage Frequency and Protease Substrate Breadth Index. *PLoS ONE*. 2020; 15(9): e0239080. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239080>
- Kryukov V.S., Zinoviev S.V., Nekrasov R.V. Proteases in the diet of monogastric animals. *Agrarian science*. 2021; (1): 30–38 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-30-38>
- Mendoza G.D., Loera-Corral O., Plata-Pérez F.X., Hernández-García P.A., Ramírez-Mella M. Considerations on the Use of Exogenous Fibrolytic Enzymes to Improve Forage Utilization. *The Scientific World Journal*. 2014: 247437. <https://doi.org/10.1155/2014/247437>
- Peters A., Lebzien P., Meyer U., Borchert U., Bulang M., Flachowsky G. Effect of exogenous fibrolytic enzymes on ruminal fermentation and nutrient digestion in dairy cows. *Archives of Animal Nutrition*. 2010; 64(3): 221–237. <https://doi.org/10.1080/17450391003693142>
- Anil et al. A Review on the Role of Exogenous Fibrolytic Enzymes in Ruminant Nutrition. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 2022; 41(36): 45–58.
- El-Bordeny N.E., El-Sayed H.M., Saied H., Mahran A.T. Evaluation of exogenous fibrolytic enzyme supplementation to improve feed utilization in ruminants. *Journal of Environmental Science*. 2017; 39(1): 69–90.

9. Arriola K.G., Oliveira A.S., Ma Z.X., Lean I.J., Giurcanu M.C., Adesogan A.T. A meta-analysis on the effect of dietary application of exogenous fibrolytic enzymes on the performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(6): 4513–4527. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12103>

10. Агафонова Е.А., Шейда Е.В., Кван О.В. Использование ферментов в кормлении крупного рогатого скота, последствия для здоровья и продуктивности. *Животноводство и кормопроизводство*. 2023; 106(1): 132–143. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-1-132>

11. Yu X., Han J., Li H., Zhang Y., Feng J. The effect of enzymes on release of trace elements in feedstuffs based on in vitro digestion model for monogastric livestock. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2018; 9: 73. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0289-2>

12. Касьянов Г.И., Мишкевич Э.Ю., Магомедов А.М. Мясные продукты, обогащенные эссенциальными микроэлементами. *Пищевая индустрия*. 2019; (3): 46–49. <https://doi.org/10.24411/9999-008A-2019-10011>

13. Гальченко А.В., Шерстнева А.А., Левина М.М. Условно-эссенциальные микроэлементы в питании вегетарианцев и веганов: фтор, кремний, бром, бор. *Микроэлементы в медицине*. 2021; 22(1): 32–43. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2021-22-1-32-43>

14. Beauchemin K.A., Holtshausen L. Development in enzyme usage in ruminants. Bedford M.R., Partridge G.G. (eds.). *Enzymes in Farm Animal Nutrition*. 2nd Edition. *CABI*. 2011; 206–230. <https://doi.org/10.1079/9781845936747.020>

15. Трухачев В.И., Буряков Н.П., Бурякова М.А., Лаптев Г.Ю., Комарова О.Е., Нарезная А.А. Особенности рубцового пищеварения коров при включении в основной рацион ферментной кормовой добавки. *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. 2023; (1): 26–36. <https://doi.org/10.33920/sel-05-2301-03>

16. Ali U. et al. Stability and Survivability of Alginate Gum-Coated *Lactobacillus rhamnosus* GG in Simulated Gastrointestinal Conditions and Probiotic Juice Development. *Journal of Food Quality*. 2023; 3660968. <https://doi.org/10.1155/2023/3660968>

ОБ АВТОРАХ

Елена Владимировна Шейда^{1,2}

• доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина¹;

• доктор биологических наук, старший научный сотрудник² elena-shejda@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-2586-613>

Ольга Вилориевна Кван^{1,2}

• кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заведомо кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина¹;

• кандидат биологических наук, старший научный сотрудник² kwan111@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Оксана Вячеславовна Шошина¹

кандидат биологических наук, младший научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина oksana.shoshina.98@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4104-3333>

Юрий Андреевич Сечнев¹

аспирант отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина y.sechnev@outlook.com

<https://orcid.org/0009-0009-5920-1185>

Лариса Юрьевна Топурия³

доктор биологических наук, профессор кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы и фармакологии 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 университет, пр. Победы, 13, Оренбург, 460018, Россия

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

9. Arriola K.G., Oliveira A.S., Ma Z.X., Lean I.J., Giurcanu M.C., Adesogan A.T. A meta-analysis on the effect of dietary application of exogenous fibrolytic enzymes on the performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(6): 4513–4527. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12103>

10. Agafonova E.A., Sheida E.V., Kvan O.V. Enzyme use in cattle nutrition, implications for health and productivity (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023; 106(1): 132–143 (in Russian). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-1-132>

11. Yu X., Han J., Li H., Zhang Y., Feng J. The effect of enzymes on release of trace elements in feedstuffs based on in vitro digestion model for monogastric livestock. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2018; 9: 73. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0289-2>

12. Kasyanov G.I., Mishkevich E.Yu., Magomedov A.M. Meat products enriched with essential trace elements. *Pishchevaya industriya*. 2019; (3): 46–49 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/9999-008A-2019-10011>

13. Galchenko A.V., Sherstneva A.A., Levina M.M. Conditionally essential trace elements in nutrition of vegetarians and vegans: fluorine, silicon, bromine, boron. *Trace elements in medicine*. 2021; 22(1): 32–43 (in Russian). <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2021-22-1-32-43>

14. Beauchemin K.A., Holtshausen L. Development in enzyme usage in ruminants. Bedford M.R., Partridge G.G. (eds.). *Enzymes in Farm Animal Nutrition*. 2nd Edition. *CABI*. 2011; 206–230. <https://doi.org/10.1079/9781845936747.020>

15. Trukhachev V.I., Buryakov N.P., Buryakova M.A., Laptev G.Yu., Komarova O.E., Narezhnaya A.A. Features of rumen digestion of cows when an enzyme feed additive is included in the basic ration. *Feeding of Agricultural Animals and Feed Production*. 2023; (1): 26–36 (in Russian). <https://doi.org/10.33920/sel-05-2301-03>

16. Ali U. et al. Stability and Survivability of Alginate Gum-Coated *Lactobacillus rhamnosus* GG in Simulated Gastrointestinal Conditions and Probiotic Juice Development. *Journal of Food Quality*. 2023; 3660968. <https://doi.org/10.1155/2023/3660968>

ABOUT THE AUTHORS

Elena Vladimirovna Sheida^{1,2}

• Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher at the S.G. Leushin Department of Farm Animal Feeding and Feed Technology¹;

• Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher² elena-shejda@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-2586-613>

Olga Vilorievna Kvan^{1,2}

• Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Head. Department of Farm Animal Feeding and Feed Technology named after S.G. Leushin¹;

• Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Acting Head of the Feeding Department² kwan111@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Oksana Vyacheslavovna Shoshina¹

Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher at the S.G. Leushin Department of Farm Animal Feeding and Feed Technology oksana.shoshina.98@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4104-3333>

Yuri Andreevich Sechnev¹

Postgraduate Student of the Department of Farm Animal Feeding and Feed Technology named after S.G. Leushin y.sechnev@outlook.com

<https://orcid.org/0009-0009-5920-1185>

Larisa Yurievna Topuria³

Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise and Pharmacology golaso@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7881-2602>

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

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

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