

УДК 664:57.088.5

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-393-04-113-120

Н.С. Колесник ✉

Н.В. Боголюбова

А.А. Зеленченкова

П.Д. Лахонин

Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, Подольск, Московская обл., Россия

✉ kominisiko@mail.ru

Поступила в редакцию: 30.01.2025

Одобрена после рецензирования: 10.03.2025

Принята к публикации: 24.03.2025

© Колесник Н.С., Боголюбова Н.В., Зеленченкова А.А., Лахонин П.Д.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-393-04-113-120

Nikita S. Kolesnik ✉

Nadezhda V. Bogolyubova

Alena A. Zelenchenkova

Pavel D. Lakhonin

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Podolsk, Moscow Region, Russia

✉ kominisiko@mail.ru

Received by the editorial office: 30.01.2025

Accepted in revised: 10.03.2025

Accepted for publication: 24.03.2025

© Kolesnik N.S., Bogolyubova N.V., Zelenchenkova A.A., Lakhonin P.D.

Процессы пищеварения и газообразования у овец под влиянием комплекса фитогеников

РЕЗЮМЕ

В статье представлены результаты исследования влияния на процессы пищеварения и эмиссию метана у овец при скармливании фитогенных кормовых добавок на основе конденсированных танинов *Lárix dahúrica* и их комплекса с дигидрокверцетином.

Эксперимент проведен на базе физиологического двора ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста на овцах романовской породы с хроническими фистулами рубца по Басову. Опыт проведен методом латинского квадрата 2 × 3 (n = 6). В первый период овцы получали сеноконцентратный рацион с содержанием 40% концентратов по питательности. Дозировка танинов составляла 5 г/гол в сутки, дигидрокверцетина — 0,1 г/гол в сутки. В конце каждого балансового опыта у всех животных (n = 6) отбирались пробы рубцового содержимого для определения показателей рубцового пищеварения.

При скармливании изучаемых добавок наблюдалась тенденция к увеличению амилолитической активности в опытных группах. В контроле данный показатель составил 17,403 Е/мл, в первой опытной группе — 18,128 Е/мл, во второй — 18,423 Е/мл. Достоверно (p < 0,05) увеличивалось количество ЛЖК при потреблении комплексной добавки (танин + ДКВ) — 9,137 ммоль/мл против 8,385 ммоль/мл в контроле. Эти данные коррелируют с увеличением симбионтной микрофлоры (как бактерий (p = 0,013), так и инфузорий) относительно контроля в третьей группе (танин + ДКВ) и снижением — во второй. При скармливании только танина уровень образования инфузорий был ниже, ниже концентрация ЛЖК после приема корма. Это указывает на угнетение микрофлоры под действием танина. Вместе с этим демонстрируется эффект синергизма в отношении действия танинов *Lárix dahúrica* и ДКВ на интенсификацию процессов рубцового пищеварения.

Наблюдается снижение выделения метана на 14,8% при потреблении танинов, на 26,8% — при потреблении комплексной добавки, что свидетельствует о наличии синергизма в действии изучаемых добавок на метаногенез у овец *in vivo*.

Ключевые слова: овцы, метаногенез, фитогеники, рубцовое пищеварение, дигидрокверцетин, танины

Для цитирования: Колесник Н.С., Боголюбова Н.В., Зеленченкова А.А., Лахонин П.Д. Процессы пищеварения и газообразования у овец под влиянием комплекса фитогеников. *Аграрная наука*. 2025; 393(04): 113–120.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-113-120>

Digestion and gas formation processes in sheep under the influence of a complex of phytochemicals

ABSTRACT

The article presents the results of a study of the effect on digestion processes and methane emissions in sheep when fed phytochemical feed additives based on condensed tannins of *Lárix dahúrica* and their complex with dihydroquercetin.

The experiment was conducted at the physiological yard of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry and Animal Welfare on Romanov sheep with chronic rumen fistulas according to Basov. The experiment was conducted using the 2 × 3 Latin square method (n = 6). In the first period, the sheep received a hay-concentrate diet containing 40% concentrates by nutritional value. The dosage of tannins was 5 g/head per day, dihydroquercetin — 0.1 g/head per day. At the end of each balance experiment, rumen contents were sampled from all animals (n = 6) to determine rumen digestion indices.

When feeding the studied additives, a tendency to increase amylolytic activity in the experimental groups is observed. In the control, this indicator was 17.403 U/ml, in the first experimental group — 18.128 U/ml, in the second — 18.423 U/ml. The amount of VFA significantly (p < 0.05) increased when consuming the complex additive (tannin + DHQ) — 9.137 mmol/ml versus 8.385 mmol/ml in the control. These data correlate with an increase in symbiotic microflora (both bacteria (p = 0.013) and ciliates) relative to the control in the third group (tannin + DHQ) and a decrease in the second. When feeding only tannin, the level of ciliate formation was lower and the concentration of VFA after feed intake was lower. This indicates the inhibition of microflora under the influence of tannin. At the same time, the synergistic effect of the action of *Lárix dahúrica* tannins and DQV on the intensification of rumen digestion processes is demonstrated. There is a decrease in methane release by 14.8% when consuming tannins, and by 26.8% when consuming a complex additive, which indicates the presence of synergy in the effect of the studied additives on methanogenesis in sheep *in vivo*.

Key words: sheep, methanogenesis, phytochemicals, rumen digestion, dihydroquercetin, tannins

For citation: Kolesnik N.S., Bogolyubova N.V., Zelenchenkova A.A., Lakhonin P.D. Digestion and gas formation processes in sheep under the influence of a complex of phytochemicals. *Agrarian science*. 2025; 393(04): 113–120 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-113-120>

Введение/Introduction

Рост населения и его потребностей в продуктах животного происхождения неизбежно приводит к интенсификации животноводства, которая достигается за счет увеличения плотности животных и производственных единиц, использования концентрированных кормов, фармацевтических препаратов и вакцинации, улучшения инфраструктуры и эффективности кормов [1, 2].

Во всем мире около 65 млрд кур, 1,5 млрд свиней, 1 млрд коз и овец, около 330 млн крупного рогатого скота и буйволов выращиваются для производства мяса. В то же время коров, используемых для производства молока, почти 234 млн, а сектор производства яиц насчитывает 7,6 млрд кур-несушек. Животноводческий сектор составляет до 50% мирового валового внутреннего продукта сельского хозяйства и поддерживает средства к существованию и продовольственную безопасность почти 1,3 млрд человек в развивающихся странах [3].

Однако, несмотря на рост населения и спроса на животный белок, растет беспокойство о негативном влиянии животноводства на окружающую среду [4, 5]. В частности, на сектор животноводства, по различным оценкам, приходится примерно 15–18% глобальных антропогенных выбросов парниковых газов (ПГ), в том числе метана [6, 7].

Метан (CH_4) является вторым парниковым газом (ПГ) после CO_2 , доля его выбросов от отрасли животноводства составляет порядка 40% [8]. Среди ПГ CH_4 обладает значительно большим потенциалом глобального потепления (ПГП) по сравнению с углекислым газом (по различным оценкам, в 21–23 раза) и более коротким периодом полураспада [9]. В связи с этим снижение выбросов CH_4 — одна из важных задач в борьбе с антропогенным изменением климата [10].

Другим важным аспектом является потеря за счет выделения CH_4 до 12% обменной энергии, поступающей в организм животных с пищей [11]. Потому сокращение выбросов метана жвачными позволит не только уменьшить негативное влияние животноводческой отрасли на окружающую среду, но и увеличить эффективность использования энергии и, как следствие, продуктивность животных [12, 13]. В основном CH_4 — побочный продукт жизнедеятельности метаногенных архей, продуцирующих метан посредством использования избытка H_2 и CO_2 в качестве основных субстратов [14].

На сегодняшний день множество научных исследований сосредоточены на изучении факторов, влияющих на метаногенез в рубце, а также потенциальных способов снижения выбросов метана жвачными животными без вреда для их здоровья и потери продуктивности [15, 16].

Одной из основных стратегий, направленных на управление и снижение интенсивности метаногенеза в рубце, является использование кормовых добавок с антимерганогенным эффектом. К ним относятся 3-нитрооксипропанол, жировые добавки, органические кислоты и пробиотики [7, 17, 18].

Другие перспективные антимерганогенные добавки (биологически активные вещества, являющиеся вторичными метаболитами растений) — фитогеники. Эти метаболиты в основном характеризуются как модуляторы микробных популяций, которые изменяют процесс ферментации в рубце и биогидрогенизацию жирных кислот [19]. Они недороги по стоимости и обладают широким спектром полезного действия [20]. К таким соединениям относятся, в частности, танины — сложные водорастворимые полифенолы растительного происхождения с относительно высокой молекулярной массой (от 500 до 20 000 Да). Они обладают выраженной антимерганогенной, антимикробной и антиоксидантной активностью, а также способностью к комплексообразованию [21].

В ряде исследований демонстрируется эффективность применения танинов в отношении метаногенеза у жвачных как *in vitro*, так и *in vivo*, что делает их перспективным объектом для дополнительного изучения [22]. Стоит отметить, что мало изучен эффект совместного действия танинов и других фитогенных добавок, таких как дигидрокверцетин (ДКВ), на рубцовую микробиоту и метаногенез. ДКВ сам по себе не обладает антимерганогенным эффектом, однако оказывает положительное действие на симбионтную микрофлору рубца [23].

Цели работы — изучение и оценка влияния на процессы пищеварения и газообразование у овец как танинов лиственницы даурской (*Lárix dahúrica*) в чистом виде, так и в комплексе с дигидрокверцетином *in vivo*.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования, направленные на изучение влияния фитогенных кормовых добавок на метаногенез у овец, проводились методом латинского квадрата 2 x 3 на баранчиках романовской породы в возрасте 2 лет в количестве 6 голов с живой массой 55 ± 2 кг с хроническими фистулами рубца по Басову¹ в условиях физиологического двора и в лабораториях ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста в 2023 году.

Согласно схеме опыта, животные получали сеноконцентратный рацион с 40% концентратов от общей питательной ценности: сено злаково-разнотравное — 1,2 кг, концентраты — 0,4 кг. В рационе содержалось 12,52 МДж обменной энергии, 1,35 кг сухого вещества, 170,8 г сырого протеина, 336 г сырой клетчатки, 31,2 г сырого жира.

¹ Алиев А.А. Оперативные методы исследований сельскохозяйственных животных. Серия: Методы физиологических исследований. Л.: Наука, Ленинградское отделение. 1974; 1–336.

В качестве кормовой добавки скармливали концентрированные танины (КТ) лиственницы даурской (*Lárix dahúrica*) в количестве 5 г на голову в сутки и дигидрокверцетин (ДКВ) в количестве 0,1 г на голову в сутки в форме порошка при смешивании с комбикормом. Дозировки рассчитывали в соответствии с литературными данными отечественных и зарубежных исследователей по применению танинов, в частности КТ *Lárix dahúrica*, и дигидрокверцетина в кормлении жвачных [23–26].

Животные были разделены на три группы: 1-я — контрольная, 2-я получала добавку танинов, 3-я — комплексную добавку на основе танинов и ДКВ. Продолжительность каждого периода составляла 30 дней.

Основной рацион и условия содержания животных (температурный, влажностный, световой режимы и газовый состав воздуха в помещении) в исследуемые периоды были одинаковыми.

Протокол исследования на животных был одобрен биоэтической комиссией ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста (протокол от 20 марта 2023 года № 2). Эксперименты проведены с соблюдением требований, изложенных в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза от 22 сентября 2010 года № 2010/63/ЕС о защите животных, использующихся для научных целей², и принципов обращения с животными, согласно статье 4 ФЗ РФ № 498-ФЗ³.

В каждом периоде проводился балансовый опыт⁴. В конце каждого балансового опыта у всех животных ($n = 6$) с помощью зонда отбирались пробы рубцового содержимого за 1 час до кормления и через 3 часа после кормления для исследования содержания и состава рубцовой микробиоты. Биомассу простейших и бактерий определяли по методике Б.В. Тараканова⁵.

Для того чтобы определить влияние изучаемых добавок в рационе на поедаемость корма, ежедневно (на протяжении каждого учетного периода) производился индивидуальный учет заданных кормов и их остатков. По окончании опыта отобранные средние пробы кормов, кала, мочи подвергались химическому анализу.

В образцах определяли содержание общего азота — по ГОСТ 13496.4-2019⁶, сырого протеина — путем умножения процентного содержания азота на коэффициент 6,25, сырого жира — по ГОСТ 32905-2014⁷, сырой клетчатки — по ГОСТ

31675-2012⁸, безазотистых экстрактивных веществ — расчетным путем, по разности между количеством органического вещества и содержанием в нем сырых протеина, жира, клетчатки, золы.

Показатель кислотности среды (рН) измеряли с помощью портативного рНметра («Аквилон рН-420», Россия), общее количество летучих жирных кислот (ЛЖК) — методом паровой дистилляции в аппарате Маркгама⁹, концентрацию аммиачного азота — микродиффузным методом по Конвею¹⁰, амилолитическую активность рубцовой жидкости — по ГОСТ 34440-2018¹¹.

Исследования по изучению выделения метана выполняли при помощи респираторных камер открытого типа (рис. 1) с использованием газоанализатора «Сенсон М» (производитель ООО «НИИИТ», Россия).

Животное помещалось в камеру на двое смежных суток, после чего проводился учет выделившихся парниковых газов.

Обработку полученных данных выполняли в Microsoft Excel (США) с расширенным пакетом анализа данных и программы Statistica, version 13 Ru, StatSoft, Inc., 2011¹² (США). При этом вычисляли среднеарифметическую (M), среднеквадратическую ошибку ($\pm m$) и уровень значимости (p) при помощи однофакторного дисперсионного анализа. Далее для попарных сравнений изучаемых групп применяли тест Тьюки-Крамера.

Рис. 1. Респираторная камера открытого типа
Fig. 1. Open type respiratory chamber



² Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях. https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf

³ Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

⁴ Овсянников А.И. Основы опытного дела в животноводстве / А.И. Овсянников // Учебник для вузов. М.: Колос. 1976; 303.

⁵ Тараканов Б.В. Методы исследования микрофлоры пищеварительного тракта сельскохозяйственных животных и птицы / Б.В. Тараканов. М.: Научный мир. 2006; 188.

⁶ ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина.

⁷ ГОСТ 32905-2014 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания сырого жира.

⁸ ГОСТ 31675-2012 Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации.

⁹ Сенько А.В. Методические рекомендации по исследованию содержимого рубца у коров. / А.В. Сенько, Д.В. Воронов. ВКН: Гродненский государственный аграрный университет. 2010; 309–334.

¹⁰ Курилов Н.В. Изучение пищеварения у жвачных / Н.В. Курилов, Н.А. Севостьянова, В.Н. Коршунов. Боровск. 1985; 104.

¹¹ ГОСТ 34440-2018 Ферментные препараты для пищевой промышленности. Методы определения амилолитической активности.

¹² www.statsoft.com

Таблица 1. Основные показатели рубцового пищеварения у овец ($M \pm m$, $n = 6$)

Table 1. Main indicators of rumen digestion in sheep ($M \pm m$, $n = 6$)

Показатель	Контроль	Танин	Танин + ДКВ	p-значение*
pH до кормления	6,485 ± 0,082	6,547 ± 0,096	6,473 ± 0,097	0,80430
pH после кормления	6,082 ± 0,035	6,062 ± 0,021	6,032 ± 0,096	0,81343
ЛЖК ммоль / 100 мл до кормления	6,453 ± 0,407	6,652 ± 0,185	7,997 ± 0,320	0,00355
ЛЖК ммоль / 100 мл после кормления	8,385 ± 0,113	7,592 ± 0,211	9,137 ± 0,212	0,00004
NH ₃ мг% до кормления	15,883 ± 0,334	12,687 ± 1,784	13,628 ± 1,707	0,24145
NH ₃ мг% после кормления	21,485 ± 1,317	17,675 ± 0,520	18,795 ± 0,709	0,01614
Амилолитическая активность, Е/мл	17,403 ± 0,618	18,128 ± 0,225	18,423 ± 0,421	0,22952

Примечание: ЛЖК — летучие жирные кислоты, * p — достоверность различий между группами.

Результаты исследований считали высокодостоверными при $p < 0,001$ и достоверными при $p < 0,01$ и $p < 0,05$, от $p < 0,1$ до $p > 0,05$ — тенденция к достоверности полученных данных. При $p > 0,1$ разницу считали недостоверной.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Эффективность использования энергии и питательных веществ корма у жвачных животных находится в прямой зависимости от характера метаболических процессов в рубце, микробиальных процессов — в преджелудках. В целях оценки влияния на рубцовое пищеварение кормовых добавок на основе конденсированных танинов, а также комплекса «танин + ДКВ» в конце каждого периода опыта были отобраны пробы рубцового содержимого у фистульных овец. Отбор проводили за 1 час до кормления и через 3 часа после кормления и определяли основные показатели рубцового пищеварения (табл. 1).

Показатель pH до кормления во всех исследуемых группах отличался незначительно и находился в пределах от 6,473 до 6,547. После кормления pH рубца ожидаемо снижался в диапазоне от 6,032 (в 3-й группе, где животные получали комплексную добавку) до 6,082 (в контрольной группе).

Наблюдалась тенденция к увеличению амилолитической активности в опытных группах относительно контроля. Так, в 1-й группе данный показатель составил 17,403 Е/мл, во 2-й группе произошло увеличение до 18,128 Е/мл (на 4,2%), в 3-й — до 18,423 Е/мл (на 5,9% относительно контроля).

Содержание летучих жирных кислот достоверно ($p < 0,05$) увеличивалось в опытных группах относительно контроля. До кормления наблюдались статистически значимые ($p = 0,003$) различия между 1-й группой (контроль) и 3-й (комплекс «танин + ДКВ»), а также 2-й (танин) и 3-й (комплекс «танин + ДКВ»), однако между 1-й и 2-й группами значимых различий нет.

После кормления наблюдалась достоверная ($p < 0,0001$) разница между всеми изучаемыми группами. В контрольной группе сумма ЛЖК составила 8,385 ммоль/мл, в группе танина — 7,592 ммоль/мл, что на 9,5% меньше, а в

Таблица 2. Масса сухого вещества микроорганизмов в рубцовом содержимом овец ($M \pm m$, $n = 6$)

Table 2. Total microbial mass in the rumen content of sheep ($M \pm m$, $n = 6$)

Показатель	Контроль	Танин	Танин + ДКВ	p-значение
СВ инфузорий до кормления, г / 100 мл	0,435 ± 0,046	0,400 ± 0,054	0,458 ± 0,053	0,68367
СВ инфузорий после кормления, г / 100 мл	0,617 ± 0,102	0,504 ± 0,058	0,630 ± 0,082	0,44829
СВ бактерий до кормления, г / 100 мл	0,322 ± 0,037	0,280 ± 0,036	0,370 ± 0,056	0,31465
СВ бактерии после кормления, г / 100 мл	0,295 ± 0,022	0,315 ± 0,013	0,417 ± 0,045	0,01290
Всего до кормления, г / 100 мл	0,756 ± 0,081	0,680 ± 0,058	0,828 ± 0,103	0,40652
Всего после кормления, г / 100 мл	0,911 ± 0,104	0,818 ± 0,048	1,047 ± 0,101	0,16536

Примечание: СВ — сухое вещество.

группе, получавшей танин + ДКВ, — 9,137 ммоль/мл (на 9% выше относительно контроля). ЛЖК, как конечные метаболиты распада углеводов, — жизненно важные компоненты экосистем рубца. Баланс ЛЖК необходим для оптимального функционирования рубца и продуктивности животных.

Наблюдалось достоверное ($p = 0,016$) снижение концентрации NH₃ во 2-й группе относительно контроля (17,675 мг% против 21,485 мг%), для 3-й группы снижение составило 12,5%, однако оно недостоверно. Уменьшение концентрации аммиака в рубцовом содержимом может указывать на снижение распада белковых молекул в силу комплексобразующей способности танинов или на подавление протеолитических микроорганизмов [25, 26].

О характере микробиальных процессов в преджелудках можно судить исходя из массы симбиотных микроорганизмов в рубцовом содержимом (табл. 2).

Наблюдалась тенденция к увеличению количества инфузорий относительно контроля в 3-й группе (танин + ДКВ) и снижению — во 2-й (как до кормления, так и после кормления). Так, для 1-й группы количество инфузорий до кормления составило 0,435 г / 100 мл, после кормления — 0,617 г / 100 мл против 0,458 г / 100 мл до кормления и 0,630 г / 100 мл после кормления для

3-й группы. Во 2-й группе зафиксировано снижение относительно контроля (на 8% до кормления и на 18,3% после кормления).

Схожая тенденция прослеживается и для общего числа бактерий, причем после кормления наблюдаются достоверные ($p = 0,013$) различия между 1-й и 3-й группами (0,295 г / 100 мл против 0,417 г / 100 мл соответственно), а также между 2-й и 3-й группами (0,315 г / 100 мл против 0,417 г / 100 мл соответственно).

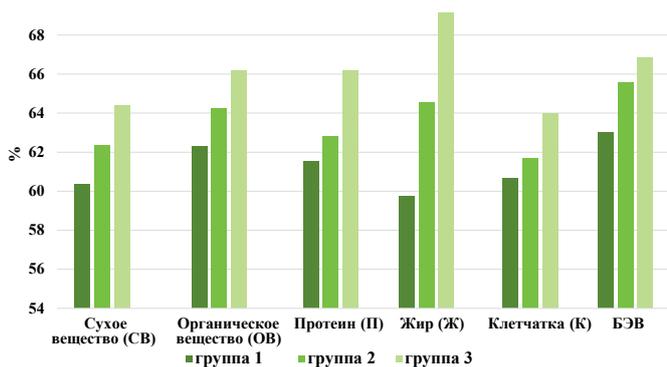
Полученные данные по количеству симбионтной микрофлоры коррелируют с суммарным количеством ЛЖК у исследуемых животных. Более высокий уровень образования различных групп микроорганизмов, как бактерий, так и инфузорий, в группе, получавшей комплексную добавку на основе танина и ДКВ, соотносится с большей концентрацией ЛЖК в рубце. При скармливании только танина уровень образования инфузорий был ниже, ниже концентрация ЛЖК после приема корма. Это указывает на угнетение микрофлоры под действием танина [21]. Вместе с этим полученные данные свидетельствуют о наличии эффекта синергизма в отношении действия танинов *Lárix dahúrica* и ДКВ, что обуславливает положительное влияние на рост и развитие микрофлоры рубца.

На основании результатов индивидуально-учета заданных кормов и их остатков, количества выделенного кала и мочи, химического состава кормов и выделений была рассчитана переваримость питательных веществ рациона и дана оценка влияния фитогенных кормовых добавок на основе конденсированных танинов *Lárix dahúrica* и ДКВ в рационе на переваримость и использование питательных веществ кормов рациона (рис. 2).

Использование фитогеников в рационе овец способствовало улучшению переваримости питательных веществ, о чем свидетельствует линейное увеличение основных показателей переваримости в опытных группах относительно контрольной. Так, для животных, получавших танины в качестве добавки, количество переваренного СВ было выше на 11,5%, ОВ — на 11,7%, протеина — на 10,1%, жира — на 16%, клетчатки — на 13,2%, БЭВ — на 11,3%. Комплексная добавка оказала более значимый эффект, выраженный в достоверном ($p < 0,05$) увеличении СВ на 19,3%, ОВ — на 15,8%, протеина — на 20,6% ($p < 0,01$), жира — на 26,5% ($p < 0,05$), клетчатки — на 17,6%, БЭВ — на 13,6%.

В целом, можно сделать вывод, что скармливаемые фитогенные добавки на основе танинов лиственницы даурской (*Lárix dahúrica*) в дозировке 5 г/гол в сутки и дигидрохверцетина (0,1 г/гол в сутки) оказали положительное действие на переваримость питательных веществ кормов рациона у подопытных овец.

Рис. 2. Переваримость питательных веществ рационов, % (n = 6)
Fig. 2. Digestibility of nutrients in diets, % (n = 6)



Важные физиологические процессы в организме животного можно рассмотреть с позиции азотистого обмена. Были оценены влияние скармливаемых добавок на баланс и использование азота подопытными овцами (табл. 3).

Выделение азота с калом и мочой были на одном уровне, как в контрольной, так и в опытных группах. В виду более высокого уровня потребления азота с кормом, наблюдалось увеличение количества отложенного в теле азота от принятого по сравнению с контролем во 2 опытной группе на 20,4% при $p < 0,05$, что говорит о положительном влиянии скармливаемых фитогенных добавок на показатели азотистого обмена.

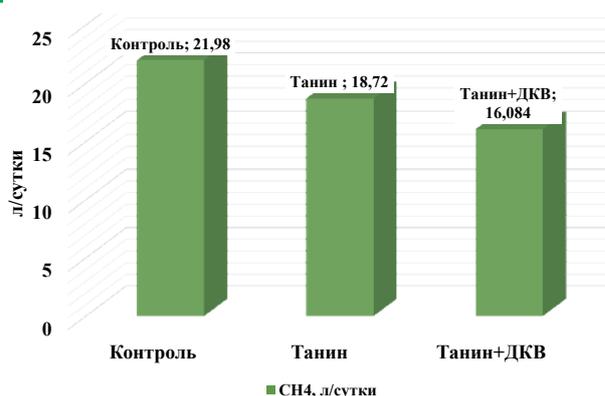
Для оценки влияния добавок на основе конденсированных танинов и их комплекса с ДКВ на метанообразование у овец были проведены исследования *in vivo* в респирационных камерах открытого типа. Полученные результаты представлены на рисунке 3.

Таблица 3. Баланс и использование азота (M ± m, n = 6)
Table 3. Nitrogen balance and utilization (M ± m, n = 6)

Показатель	контроль	танин	танин+ДКВ
Принято с кормом, г	20,66 ± 1,11	21,47 ± 0,44	22,30 ± 0,49
Выделено с калом, г	7,69 ± 0,56	7,98 ± 0,30	7,53 ± 0,20
Переварено, г	12,27 ± 0,73	13,48 ± 0,40	14,77 ± 0,42*
Выделено с мочой, г	5,28 ± 0,54	5,34 ± 0,44	5,45 ± 0,6
Отложено в теле, г	7,00 ± 0,69	8,14 ± 0,47	9,28 ± 0,17**
Использовано, в % от принятого	35,18 ± 2,97	37,95 ± 2,13	41,95 ± 1,74

Примечание: * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$.

Рис. 3. Количество выделяемого овцами метана в сутки
Fig. 3. The amount of methane emitted by sheep



Наблюдается выраженное снижение выделяющегося метана у животных опытных групп относительно контроля. Так, в контрольной группе количество выделившегося CH_4 составило 21,98 л/сутки, при скормливании только танинов этот показатель был ниже на 14,8% (18,72 л/сутки), а при получении животными комплексной добавки танина с ДКВ — достоверно ($p = 0,05$) ниже на 26,8% (16,08 л/сутки).

Полученные данные свидетельствуют не только о снижении выделения метана за счет использования фитогенных кормовых добавок на основе танинов, но и об эффекте синергизма в отношении действия танинов *Lárix dahúrica* и дигидрокверцетина на метаногенез *in vivo*, что соотносится с предыдущими исследованиями *in vitro* [27].

Выводы/Conclusions

Итогом исследований по изучению и оценке влияния фитогенных добавок на основе конденсированных танинов лиственницы даурской (*Lárix*

dahúrica) в дозировке 5 г/гол в сутки и их комплекса с дигидрокверцетином (0,1 г/гол в сутки) на процессы пищеварения у овец *in vivo* стало положительное действие комплексной добавки «танин+ДКВ», выраженное достоверно увеличении общего количества ЛЖК (9,137 ммоль / 100 мл против 8,385 ммоль / 100 мл, $p < 0,0001$) и симбионтной микрофлоры (СВ бактерий 0,417 г / 100 мл против 0,295 г / 100 мл, $p = 0,013$).

Изучаемые добавки не оказали отрицательного воздействия на переваримость питательных веществ рациона и способствовали интенсификации азотистого обмена.

Подтвержден антиметаногенный эффект скормливаемых добавок, выраженный в снижении выделения метана на 14,8% при потреблении танинов и на 26,8% при потреблении комплексной добавки. Подтвержден эффект синергизма в отношении действия ДКВ и танинов *Lárix dahúrica* на метанообразование у овец *in vivo*.

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 при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации национального проекта «Наука и университеты».

FUNDING

The study was carried out with financial support from the Russian Ministry of Education and Science as part of the national project “Science and Universities”.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Ramankutty N. *et al.* Trends in Global Agricultural Land Use: Implications for Environmental Health and Food Security. *Annual Review of Plant Biology*. 2018; 69: 789–815. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040256>
- Tullo E., Finzi A., Guarino M. Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Science of the Total Environment*. 2019; 650(2): 2751–2760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.018>
- Herrero M. *et al.* Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change*. 2016; 6(5): 452–461. <https://doi.org/10.1038/nclimate2925>
- Ochs D.S., Wolf C.A., Widmar N.J.O., Bir C. Consumer perceptions of egg-laying hen housing systems. *Poultry Science*. 2018; 97(10): 3390–3396. <https://doi.org/10.3382/ps/pey205>
- Санникова Н.В., Шулепова О.В., Гаврюк А.И. Сельское хозяйство как источник загрязнения окружающей среды. *АПК: инновационные технологии*. 2020; (3): 44–48. <https://www.elibrary.ru/zuhhhe>
- Gerber P.J. *et al.* Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal*. 2013; 7(s2): 220–234. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000876>
- Боголюбова Н.В., Зеленченкова А.А., Колесник Н.С., Лахонин П.Д. Метанообразование в рубце и методы его снижения с использованием алиментарных факторов (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2022; 57(6): 1025–1054. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2022.6.1025rus>
- Vargas J., Ungerfeld E., Muñoz C., DiLorenzo N. Feeding Strategies to Mitigate Enteric Methane Emission from Ruminants in Grassland Systems. *Animals*. 2022; 12(9): 1132. <https://doi.org/10.3390/ani12091132>
- Muller R.A., Muller E.A. Fugitive Methane and the Role of Atmospheric Half-Life. *Geoinformatics & Geostatistics: An Overview*. 2017; 5(2): 3. <https://doi.org/10.4172/2327-4581.1000162>
- Елисеев А.В. Глобальный цикл метана (обзор). *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2018; (1): 52–70. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2018-1-52-70>

REFERENCES

- Ramankutty N. *et al.* Trends in Global Agricultural Land Use: Implications for Environmental Health and Food Security. *Annual Review of Plant Biology*. 2018; 69: 789–815. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040256>
- Tullo E., Finzi A., Guarino M. Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Science of the Total Environment*. 2019; 650(2): 2751–2760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.018>
- Herrero M. *et al.* Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change*. 2016; 6(5): 452–461. <https://doi.org/10.1038/nclimate2925>
- Ochs D.S., Wolf C.A., Widmar N.J.O., Bir C. Consumer perceptions of egg-laying hen housing systems. *Poultry Science*. 2018; 97(10): 3390–3396. <https://doi.org/10.3382/ps/pey205>
- Sannikova N.V., Shulepova O.V., Gavryuk A.I. Agriculture as a source of environmental pollution. *AIC: innovative technologies*. 2020; (3): 44–48 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zuhhhe>
- Gerber P.J. *et al.* Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal*. 2013; 7(s2): 220–234. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000876>
- Bogolyubova N.V., Zelenchenkova A.A., Kolesnik N.S., Lahunin P.D. Rumen methane production and its reduction using nutritional factors (review). *Agricultural Biology*. 2022; 57(6): 1025–1054. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2022.6.1025eng>
- Vargas J., Ungerfeld E., Muñoz C., DiLorenzo N. Feeding Strategies to Mitigate Enteric Methane Emission from Ruminants in Grassland Systems. *Animals*. 2022; 12(9): 1132. <https://doi.org/10.3390/ani12091132>
- Muller R.A., Muller E.A. Fugitive Methane and the Role of Atmospheric Half-Life. *Geoinformatics & Geostatistics: An Overview*. 2017; 5(2): 3. <https://doi.org/10.4172/2327-4581.1000162>
- Eliseev A.V. Global methane cycle (a review). *Fundamental and Applied Climatology*. 2018; (1): 52–70 (in Russian). <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2018-1-52-70>

11. Dong L.F., Ferris C.P., McDowell D.A., Yan T. Effects of diet forage proportion on maintenance energy requirement and the efficiency of metabolizable energy use for lactation by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2015; 98(12): 8846–8855. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9465>
12. Hristov A.N. *et al.* An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2015; 112(34): 10663–10668. <https://doi.org/10.1073/pnas.1504124112>
13. Петрунина И.В., Горбунова Н.А. Системные меры по снижению выбросов парниковых газов в животноводческих хозяйствах. Обзор. *Пищевые системы*. 2022; 5(3): 202–211. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-202-211>
14. Cammack K.M., Austin K.J., Lamberson W.R., Conant G.C., Cunningham H.C. Ruminant Nutrition Symposium: Tiny but mighty: the role of the rumen microbes in livestock production. *Journal of Animal Science*. 2018; 96(2): 752–770. <https://doi.org/10.1093/jas/skx053>
15. Henderson G. *et al.* Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. *Scientific Reports*. 2015; 5: 14567. <https://doi.org/10.1038/srep14567>
16. Henderson G., Cook G.M., Ronimus R.S. Enzyme- and gene-based approaches for developing methanogen-specific compounds to control ruminant methane emissions: a review. *Animal Production Science*. 2016; 58(6): 1017–1026. <https://doi.org/10.1071/AN15757>
17. Duin E.C. *et al.* Mode of action uncovered for the specific reduction of methane emissions from ruminants by the small molecule 3-nitrooxypropanol. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2016; 113(22): 6172–6177. <https://doi.org/10.1073/pnas.1600298113>
18. Шейда Е.В. и др. Влияние дополнительного введения льняного масла на изменение микробиома рубца крупного рогатого скота. *Животноводство и кормопроизводство*. 2021; 104(2): 84–95. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-2-84>
19. Шейда Е.В., Рязанов В.А., Дускаев Г.К., Рахматуллин Ш.Г., Кван О.В. Влияние *Artemisiae absinthil herba* и *Inulae rhizomata et radices* на процессы ферментации и метаногенез в рубце молодняка крупного рогатого скота. *Аграрная наука*. 2023; (3): 46–51. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-46-51>
20. Lambo M.T., Ma H., Liu R., Dai B., Zhang Y., Li Y. Mechanism, effectiveness, and the prospects of medicinal plants and their bioactive compounds in lowering ruminants' enteric methane emission. *Animal*. 2024; 18(4): 101134. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101134>
21. Колесник Н.С., Боголюбова Н.В., Зеленченкова А.А. Влияние различных классов танинов на метаногенез у жвачных животных (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2024; 59(2): 221–236. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2024.2.221rus>
22. El-Zaiat H.M., Kholif A.E., Moharam M.S., Attia M.F., Abdalla A.L., Sallam S.M.A. The ability of tanniniferous legumes to reduce methane production and enhance feed utilization in Barki rams: *in vitro* and *in vivo* evaluation. *Small Ruminant Research*. 2020; 193: 106259. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106259>
23. Фомичев Ю.П., Боголюбова Н.В., Мишуров А.В., Рыков Р.А. Биокоррекция ферментативных и микробиологических процессов в рубце, межточный обмен у овец путем применения в питании антиоксиданта и органического йода. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019; (4): 43–47. <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019443-47>
24. Torres R.N.S. *et al.* Effects of tannins supplementation to sheep diets on their performance, carcass parameters and meat fatty acid profile: A meta-analysis study. *Small Ruminant Research*. 2022; 206: 106585. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106585>
25. Фомичев Ю.П., Кузнецова В.А. Экстракт коры ливенницы даурской (танины) в рационе молочных коров. *Эффективное животноводство*. 2023; (3): 64–66. <https://doi.org/10.24412/cl-33489-2023-3-64-66>
26. Śliwiński B.J., Kreuzer M., Wettstein H.R., Machmüller A. Rumen Fermentation and Nitrogen Balance of Lambs fed Diets Containing Plant Extracts Rich in Tannins and Saponins, and Associated Emissions of Nitrogen and Methane. *Archiv Für Tierernaehrung*. 2002; 56(6): 379–392. <https://doi.org/10.1080/00039420215633>
27. Lima P.R. *et al.* Dietary supplementation with tannin and soybean oil on intake, digestibility, feeding behavior, ruminal protozoa and methane emission in sheep. *Animal Feed Science and Technology*. 2019; 249: 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2019.01.017>
11. Dong L.F., Ferris C.P., McDowell D.A., Yan T. Effects of diet forage proportion on maintenance energy requirement and the efficiency of metabolizable energy use for lactation by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2015; 98(12): 8846–8855. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9465>
12. Hristov A.N. *et al.* An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2015; 112(34): 10663–10668. <https://doi.org/10.1073/pnas.1504124112>
13. Petrunina I.V., Gorbunova N.A. Systemic measures on reduction of greenhouse gas emissions in animal husbandry enterprises. A review. *Food systems*. 2022; 5(3): 202–211 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-202-211>
14. Cammack K.M., Austin K.J., Lamberson W.R., Conant G.C., Cunningham H.C. Ruminant Nutrition Symposium: Tiny but mighty: the role of the rumen microbes in livestock production. *Journal of Animal Science*. 2018; 96(2): 752–770. <https://doi.org/10.1093/jas/skx053>
15. Henderson G. *et al.* Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. *Scientific Reports*. 2015; 5: 14567. <https://doi.org/10.1038/srep14567>
16. Henderson G., Cook G.M., Ronimus R.S. Enzyme- and gene-based approaches for developing methanogen-specific compounds to control ruminant methane emissions: a review. *Animal Production Science*. 2016; 58(6): 1017–1026. <https://doi.org/10.1071/AN15757>
17. Duin E.C. *et al.* Mode of action uncovered for the specific reduction of methane emissions from ruminants by the small molecule 3-nitrooxypropanol. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2016; 113(22): 6172–6177. <https://doi.org/10.1073/pnas.1600298113>
18. Sheyda E.V. *et al.* Effect of supplemental flaxseed oil on altering of rumen microbiome of cattle. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021; 104(2): 84–95 (in Russian). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-2-84>
19. Sheida E.V., Ryzanov V.A., Duskaev G.K., Rakhmatullin Sh.G., Kvan O.V. Influence of *Artemisiae absinthil herba* and *Inulae rhizomata et radices* on fermentation processes and methanogenesis in the rumen of young cattle. *Agrarian science*. 2023; (3): 46–51 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-46-51>
20. Lambo M.T., Ma H., Liu R., Dai B., Zhang Y., Li Y. Mechanism, effectiveness, and the prospects of medicinal plants and their bioactive compounds in lowering ruminants' enteric methane emission. *Animal*. 2024; 18(4): 101134. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101134>
21. Kolesnik N.S., Bogolyubova N.V., Zelenchenkova A.A. The effect of different classes of tannins on methanogenesis in ruminants (review). *Agricultural Biology*. 2024; 59(2): 221–236. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2024.2.221eng>
22. El-Zaiat H.M., Kholif A.E., Moharam M.S., Attia M.F., Abdalla A.L., Sallam S.M.A. The ability of tanniniferous legumes to reduce methane production and enhance feed utilization in Barki rams: *in vitro* and *in vivo* evaluation. *Small Ruminant Research*. 2020; 193: 106259. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106259>
23. Fomichev Yu.P., Bogolyubova N.V., Mishurov A.V., Rykov R.A. Biocorrection enzymatic and microbiological processes in the rumen, intermediate metabolism of sheep by applying to the feeding of oxidant and organic iodine. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2019; (4): 43–47 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019443-47>
24. Torres R.N.S. *et al.* Effects of tannins supplementation to sheep diets on their performance, carcass parameters and meat fatty acid profile: A meta-analysis study. *Small Ruminant Research*. 2022; 206: 106585. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106585>
25. Fomichev Yu.P., Kuznetsova V.A. Dahurian larch bark extract (tannins) in the diet of dairy cows. *Effektivnoye zhivotnovodstvo*. 2023; (3): 64–66 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/cl-33489-2023-3-64-66>
26. Śliwiński B.J., Kreuzer M., Wettstein H.R., Machmüller A. Rumen Fermentation and Nitrogen Balance of Lambs fed Diets Containing Plant Extracts Rich in Tannins and Saponins, and Associated Emissions of Nitrogen and Methane. *Archiv Für Tierernaehrung*. 2002; 56(6): 379–392. <https://doi.org/10.1080/00039420215633>
27. Lima P.R. *et al.* Dietary supplementation with tannin and soybean oil on intake, digestibility, feeding behavior, ruminal protozoa and methane emission in sheep. *Animal Feed Science and Technology*. 2019; 249: 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2019.01.017>

28. Ng F. *et al.* An adhesin from hydrogen-utilizing rumen methanogen *Methanobrevibacter ruminantium* M1 binds a broad range of hydrogen-producing microorganisms. *Environmental Microbiology*. 2016; 18(9): 3010–3021. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13155>

29. Колесник Н.С., Боголюбова Н.В. Изучение влияния фитогеников на метанообразование в организме овец методами *in vitro*. Овцы, козы, шерстяное дело. 2024; (2): 18–20. <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2024-2-18-20>

ОБ АВТОРАХ

Никита Сергеевич Колесник

младший научный сотрудник лаборатории фундаментальных основ питания сельскохозяйственных животных и рыб
kominisiko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4267-5300>

Надежда Владимировна Боголюбова

доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных
652202@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0520-7022>

Алёна Анатольевна Зеленченкова

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией фундаментальных основ питания сельскохозяйственных животных и рыб
aly4383@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8862-3648>

Павел Дмитриевич Лакхонин

младший научный сотрудник лаборатории фундаментальных основ питания сельскохозяйственных животных и рыб
lakhonin.99@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7354-0337>

Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, 60, г. о. Подольск, Московская обл., 142132, Россия

28. Ng F. *et al.* An adhesin from hydrogen-utilizing rumen methanogen *Methanobrevibacter ruminantium* M1 binds a broad range of hydrogen-producing microorganisms. *Environmental Microbiology*. 2016; 18(9): 3010–3021. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13155>

29. Kolesnik N.S., Bogolyubova N.V. Studying the influence of phytonics on methane formation in the body of sheep using *in vitro* methods. *Sheep, goats, wool business*. 2024; (2): 18–20 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2074-0840-2024-2-18-20>

ABOUT THE AUTHORS

Nikita Sergeevich Kolesnik

Junior Researcher at the Laboratory of Fundamental Principles of Nutrition of Farm Animals and Fish
kominisiko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4267-5300>

Nadezhda Vladimirovna Bogolyubova

Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Head of the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals
652202@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0520-7022>

Alena Anatolyevna Zelenchenkova

Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Head of the Laboratory of Fundamental Principles of Nutrition of Farm Animals and Fish
aly4383@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8862-3648>

Pavel Dmitrievich Lakhonin

Junior Researcher at the Laboratory of Fundamental Principles of Nutrition of Farm Animals and Fish
lakhonin.99@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7354-0337>

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, Russia

Природные кормовые добавки из лиственницы даурской



ЛА ИТОЛ®
Танины из
коры лиственницы

- способствует повышению продуктивности животных;
- стабилизирует обменные процессы;
- оказывает противодиарейное действие;
- способствует снижению выделения метана.

ЭКОСТИМУЛ-2®
дигидрокверцетин

- увеличивает среднесуточный прирост;
- снижает действие экстремальных факторов среды на организм животных и птицы;
- повышает продуктивность животных и птицы, улучшает качество продукции.

АО «Аметис»
675000, Амурская область,
г. Благовещенск, ул. Набережная, д. 68
тел: +7(4162)33-34-42, market@ametis.ru
www.ametis.ru