

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРОДУКТИВНЫЕ ЭФФЕКТЫ ОБРАБОТКИ
ПРОПИОНОВОЙ КИСЛОТОЙ РАЗМОЛОТОГО ЗЕРНА ГОРОХА ДЛЯ ЗАЩИТЫ
ОТ РАСПАДА В РУБЦЕ У ВЫРАЩИВАЕМЫХ БЫЧКОВ**

Лемешевский В.О., Харитонов Е.Л., Остренко К.С., Черепанов Г.Г.

*ВНИИ физиологии, биохимии и питания животных – филиал ФИЦ
животноводства – ВИЖ им. ак. Л.К. Эрнста,
Боровск Калужской обл., Российская Федерация*

Цель работы – изучение *in sacco* распадаемости протеина в рубце, физиологических показателей и продуктивных качеств выращиваемых бычков чёрно-пестрой породы при скармливании размолотого зерна гороха, обработанного пропионовой кислотой. Были сформированы 2 группы бычков чёрно-пестрой породы по 3 головы в каждой в возрасте 4 мес. с начальной живой массой 150 кг. Рацион состоял из сенажа разнотравного, силоса кукурузного и комбикорма. В I группе (контроль) к основному рациону вносили добавку 0,5 кг размолотого зерна гороха, во II группе (опытная) – такую же добавку, обработанную распылением 20%-го раствора пропионовой кислоты из расчета 5% кислоты от массы добавки. Обработка добавки гороха пропионовой кислотой привела к существенному уменьшению процентной доли быстро распадающейся фракции (с 46 до 1% от сырого протеина) и к снижению относительной скорости распада этой фракции (с 0,051 до 0,014 час⁻¹) в сравнении с контролем. Сумма значений процентной доли распадаемого протеина двух фракций в контроле составила 46,4%, а в опыте – 2,13%. В опытной группе в рубцовой жидкости было снижено содержание аммиака (P<0,05), в крови увеличена концентрация гемоглобина (P<0,05) и общего белка (P<0,05), в плазме крови снижено содержание глюкозы (P<0,05) и мочевины. В опытной группе отмечено снижение затрат протеина корма на прирост живой массы за период опыта на 3,2 % (P<0,05). Заключение, что обработка размолотого зерна гороха пропионовой кислотой снижает распадаемость протеина, а использование его в рационе положительно влияет на гематологические показатели и показатели роста бычков, при этом снижаются затраты кормов (P<0,05) на 1 кг прироста живой массы.

Ключевые слова: растущие бычки, ферментация в рубце, защита протеина от распада, , распадаемый протеин, пропионовая кислота, продуктивность

Проблемы биологии продуктивных животных, 2020, 4: 82-91.

Введение

Уровень потребления питательных веществ и качественные показатели корма являются решающим фактором для становления процессов белкового и энергетического обмена в организме животного (Овчаренко, 1975; Алиев, 1997; Кальницкий, 1998; Dijkstra et al., 2005; Lemiasheuski, 2017). Многочисленные исследования показали, что для организации рационального протеинового питания жвачных требуется накопление большого объема научных данных о процессах распада кормового протеина и синтеза микробного белка в рубце (Кальницкий, 1998; Черепанов, 2002; Агафонов, 2007; Харитонов, Погосян, 2010). Поскольку синтез микробного белка в рубце ограничен, у таких животных он может обеспечить 40-50 % потребности в кормовом протеине, а остальное его количество должно поступать с кормом, избегая распада в рубце. Достичь этого можно подбором кормов, протеин которых устойчив к распаду в рубце, а также обработкой корма физическими или химическими способами с целью «защиты» протеина (Харитонов, 2008; Andrade-Montemayor et al., 2009; Погосян, 2014; Натынчик и др., 2020; Лемешевский и др., 2020).

Обычно основные белковые добавки в рационах жвачных животных получают на основе отходов и побочных продуктов различных производств. В большинстве случаев продукты,

производимые этими отраслями, подвергаются термическим или химическим (формальдегид, органические кислоты и др.) воздействиям, которые по-разному влияют на качество белка и динамику его распадаемости в рубце.

Исследованиями установлены некоторые физико-химические механизмы снижения распадаемости протеина при тепловой обработке кормов (табл. 1). Как правило, эффект был обусловлен денатурацией и протеканием реакции Мэйларда и зависел от температуры, времени обработки и влажности (Andrade-Montemayor, 2009).

Таблица 1. Влияние тепловой обработки на денатурацию и распад белка

Температура (°C)	Влияние нагрева
50	Увеличение гидратации, потеря кристаллической структуры
70-80	Дисульфидное расщепление, потеря третичной структуры
80-90	Потеря вторичной структуры дисульфидов
90-100	Образование межмолекулярных дисульфидов
100-150	Потеря лизина и серина, образование изопептидов
150-200	Пептидизация и большее образование изопептидов
200-250	Пиролиз всех аминокислотных остатков

Менее изучены механизмы снижения распадаемости протеина при воздействиях органических кислот, в том числе пропионовой кислоты. В проведенных исследованиях отмечено, что степень распада сырого протеина зависит от типа корма и его обработки экструдированием (табл. 2). Для азотистых фракций корма показано наличие существенных особенностей процесса протеолитической дегградации (Харитонов, Погосян, 2010; Черепанов, 2002; Dijkstra et al., 2005)

Таблица 2. Распадаемость сырого протеина кормов в рубце (in sacco)

Ингредиенты	Распадаемость (% за 24 ч.)	Источник
Ячмень, зерно	82,2-85,8	Погосян, 2012; Schwab et al., 2003
	71,4-86,9	Харитонов, 2011; Andrade-Montemayor et al., 2009
Пшеница, зерно	78,9-81,2	Погосян, 2012
	44,0	Погосян, 2012
Кукуруза, зерно	15,9-34,0	Харитонов, 2011
	84,9	Погосян, 2012
Горох, зерно	78-92	Харитонов, 2011
	46,4	Погосян, 2012
	68-72	Харитонов, 2011; Andrade-Montemayor et al., 2009
Соевые бобы	37-50	Харитонов, 2011
	74,7	Погосян, 2012
Соевые бобы экструдированные	64,3	Погосян, 2012
	49,9	Харитонов, 2011
Бобы кормовые	48	Погосян, 2012
	58,5	Andrade-Montemayor et al., 2009
Сено разнотравное	55,4	Харитонов, 2011
	61-70	Харитонов, 2011
Мясокостная мука	48	Харитонов, 2011
	55,4	Харитонов, 2011
Свекла	38,9	Харитонов, 2011
	61-70	Schwab et al., 2003
Силос разнотравный	58,5	Харитонов, 2011
	55,4	Харитонов, 2011
Рапс экструдированный	38,9	Харитонов, 2011
	61-70	Schwab et al., 2003
Сено овсяное	38,9	Харитонов, 2011
	61-70	Schwab et al., 2003
Силос кукурузный	38,9	Харитонов, 2011
	61-70	Schwab et al., 2003

Белковые фракции бобовых, например гороха, отличаются высокой распадаемостью, для рыбной муки или термообработанных кормов характерны более низкие уровни распадаемости.

Проблема повышения интенсивности роста и получения от молодняка крупного рогатого скота мясной продукции решается, в первую очередь, обеспечением максимально эффективного использования всех питательных веществ, как пластического материала для биосинтеза мышечных белков, а также разработкой технологических приёмов, регулирующих процессы ферментации в рубце (Харитонов, 2011; Погосян, 2014; Лемешевский и др., 2020).

В экспериментах *in vivo* было установлено, что включение умеренных количеств неструктурных углеводов в рационы стимулирует у жвачных синтез микробного белка (Харитонов, 2007). С другой стороны, имеются данные исследований *in vivo*, которые показывают, что высокие уровни неструктурных углеводов в рационе могут отрицательно влиять на синтез микробного белка (Курилов, 1989). При низком потреблении энергии (высокая доля грубых кормов в рационе) белок, синтезируемый на 100 г перевариваемого ферментированного органического вещества (ПФОВ) в рубце, составляет 15-20 г, при высоком уровне концентратов в рационе, приводящем к низкому рН, синтез микробного белка может снижаться до 14-18 г/100 г ПФОВ в рубце (Курилов, 1987; Andrade-Montemayor et al., 2009; Лемешевский и др., 2020; Натынчик и др., 2020). Снижение распадаемости кормового белка способствует предотвращению потерь азота и энергии в рубце, а также увеличению или улучшению синтеза микробного белка.

Цель исследования – изучение *in sacco* распадаемости протеина в рубце, физиологических показателей и продуктивных качеств бычков на выращивании при скармливании размолотого зерна гороха, обработанного пропионовой кислотой.

Материал и методы

Для решения поставленных задач проведен научно-хозяйственный опыт продолжительностью 60 дней. По принципу парных аналогов были сформированы 2 группы бычков чёрно-пестрой породы по 3 головы в каждой в возрасте 4 мес. с начальной живой массой 150 кг.

Животные при проведении исследований получали общепринятые по структуре рационы в соответствии с нормами РАСХН (2003). Основной рацион кормления бычков на выращивании состоял из сенажа разнотравного, силоса кукурузного и комбикорма (табл. 3). Животные I группы (контроль) дополнительно к основному рациону получали размолотое зерно пелюшки (горох полевой), молодняк II группы (опытная) – основной рацион и размолотое зерно, обработанное органической кислотой путём распыления 20%-го раствора пропионовой кислоты из расчета 5% кислоты от массы корма.

Таблица 3. Рацион бычков на выращивании

Корма и питательные вещества	Группы	
	I	II
Сенаж разнотравный, кг	6,00	6,20
Силос кукурузный, кг	6,00	6,20
Комбикорм, кг	1,50	1,50
Пелюшка, обработанная кислотой, кг	–	0,50
Пелюшка молотая, кг	0,50	–
В рационе содержится:		
Сухое вещество, кг	6,2	6,3
Обменная энергия, МДж	61,7	62,9
Сырой протеин, г	771	783
Распадаемый протеин, г	573	560
Сырой жир, г	248	254
Сырая клетчатка, кг	1,6	1,7
БЭВ, кг	3,3	3,3
Кальций, г	42,7	43,7
Фосфор, г	22,5	22,9

Общепринятыми физиолого-биохимическими и зоотехническими методами определяли уровень энергии и состав кормов (Кальницкий, 1998; Денькин, Лемешевский, 2020). Количественные показатели использования азотистых веществ в сложном желудке бычков изучали методом *in vivo* на сложнооперированных животных с вживленными хроническими канюлями рубца (Ø 2-5 см) (Алиев, 1998). Характеристики распада протеина определяли методом *in sacco*; содержание сырого протеина в кормах и в сухом веществе остатка корма после его инкубации – по ГОСТ 13496.4-93.

В конце периода проводили балансовые измерения для определения показателей микробиологических процессов в преджелудках: рН – ионометрически, сумму ЛЖК – методом паровой дистилляции в аппарате Маркгама, общий азот (по Кьельдалю), аммиак диффузионным методом Конвея (Курилов, 1987), число инфузорий. Образцы рубцовой жидкости получали через 3 ч после утреннего кормления. В ходе опытов вели ежедневный учет количества потребленных кормов, интенсивность роста бычков.

Морфо-биохимические показатели и минеральный состав крови изучали на анализаторах Medonic CA-620, Cormay Lumen и атомно-абсорбционном спектрофотометре AAS-3.

Определение скорости протеолитической деградации нерастворимого распадаемого протеина *in vivo* выполняли путём периодического (с интервалом 3 часа) взятия проб из содержимого мешочков в течение 24 ч. Поскольку скорость реакции протеолитического распада пропорциональна концентрации протеина, зависимость измеряемого в опыте содержания его в мешочке - $p(t)$ от времени инкубации t описывается экспоненциальным трендом:

$$p(t) = b * e^{-ct}, \quad (1)$$

где e – основание натуральных логарифмов (2,72), c – константа скорости распада (относительная скорость распада), час⁻¹, t – время инкубации, час; и b – относительное количество нерастворимой распадаемой фракции (% от сырого протеина в навеске до инкубации) при $t = 0$; оно определяется экстраполяцией логарифмического графика $\ln p$ к нулевому моменту времени.

Динамика общего содержания сырого протеина в мешочке описывается более общей формулой:

$$P(t) = a + b * e^{-ct} \quad (2)$$

где a – сумма фракций растворимого и нерастворимого «нераспадаемого» (или неуспешного распастья) протеина в мешочке, % от сырого протеина в навеске до инкубации. Если количество растворимого протеина в навеске определить препаративно с использованием соответствующего буфера, то долю нераспадаемого протеина можно оценить как разницу между общим содержанием протеина в навеске до инкубации и нерастворимой распадаемой фракции, определяемой по фиксируемой в опыте динамике содержания нерастворимого протеина в мешочке.

Если нерастворимый распадаемый протеин состоит из одной гомогенной фракции, то после логарифмирования выражения (1) и построения кривой зависимости $\ln p$ от времени получается линейный график

$$\ln p = \ln b - c * t, \quad (3)$$

по которому определяются параметры b и c . При наличии двух и более фракций необходимо применять более сложные процедуры анализа данных.

Результаты и обсуждение

Среднесуточный рацион подопытного молодняка состоял из смеси сенажа разнотравного, силоса кукурузного в соотношении 50:50 и комбикорма (табл. 3). Подопытный молодняк получал корм в количестве 6,2–6,3 кг СВ/голову/сут., содержание обменной энергии в рационе контрольной группы составляло 9,9 МДж/кг, в опытной – 10,0 МДж. Расчётная доля нераспадаемого протеина от нерастворимого сырого протеина составила в контрольной группе 26% (198 г); в опытной – 28%

(222 г). Содержание клетчатки в сухом веществе рациона в подопытных группах находилось на уровне 26-27 %. Отношение кальция к фосфору составило (1,8-1,9)/1. По нормативным данным, распадаемость протеина нативного зерна гороха оценивается на уровне 78%, обработанного – на 60,4 %.

Анализируя данные по снижению в мешочках доли нерастворимого протеина в сыром протеине по мере увеличения времени инкубации (рис. 1), видно, что на логарифмическом графике для нативного зерна (контроль) распадаемая часть состоит из двух фракций, так как чётко выделяются два линейных участка с разным наклоном к оси абсцисс. Это указывает на то, что распадаемый протеин состоит из двух фракций, различающихся по процентной доле от исходного уровня сырого протеина в навеске и относительной скорости его распада (константы скорости, c , час⁻¹). В молотом зерне, обработанном пропионовой кислотой, это различие «на глаз» менее заметно. Для количественной оценки параметров b и c для этих фракций был проведен анализ двухкомпонентной кинетики распада.

Процедура анализа состояла из нескольких этапов, которые ниже описаны для контрольного опыта.

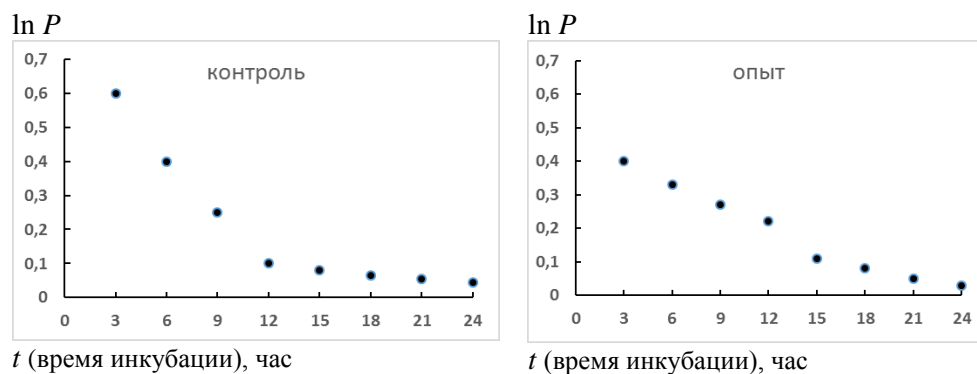


Рис. 1. Динамика содержания в мешочке нерастворимого протеина пелюшки; контроль – нативная форма; опыт – обработка пропионовой кислотой

В приложении MS Excell строится точечная диаграмма, в которой в столбце $x = ..$ вносятся значения времени инкубации $t = 3, 6, 9, 12$, в столбце $y = ...$ – фактические значения $\ln P$ для первого участка: 0,6, 0,4, 0,25, 0,1. Аналогично, для второго линейного участка вносятся значения $t = 15, 18, 21, 24$ и фактические значения $\ln P$: 0,08, 0,065, 0,055, 0,045, затем выбирается линейный тренд и считывается уравнение регрессии ($y = -0.0038x + 0.136$) (рис. 2).

Для участка $t = 3, 6, 9, 12$ вычисляется разность между фактическими значениями $\ln P$ и значениями, вычисленными по уравнению регрессии для второго участка. Полученная линия отражает собой динамику содержания в мешочке протеина первой фракции, для которой считывают уравнение регрессии $y = -0.0512x + 0.614$, где в соответствии с выражением (3) $y = \ln p$, а x – это величина c , имеющая размерность 1/час.

По величине антилогарифма ($\ln b$) определяется b – начальное значение доли распадаемой фракции (для примера: для первой фракции в контрольной группе $\ln b = 0,614$ и антилогарифм этой величины, равный 46, определяется по таблицам натуральных логарифмов). Таким образом, значение b определяется методом аппроксимации линейного участка до пересечения с осью ординат.

Относительная скорость (константа скорости) распада первой фракции, $c = 0,0512$ час⁻¹.

В такой же последовательности проводились вычисления для опытной группы (рис. 2, табл. 2).

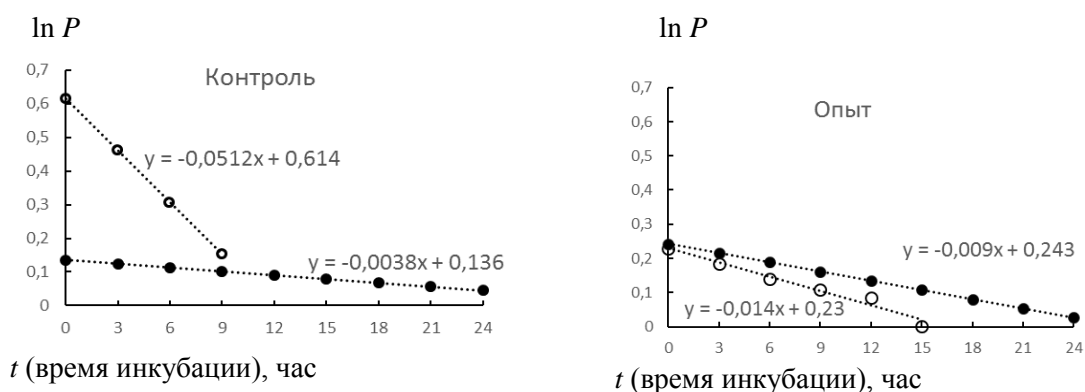


Рис. 2. Восстановленный логарифмический тренд содержания в мешочке двух фракций нерастворимого распадаемого протеина пелюшки: контроль – нативная форма; опыт – обработка пропионовой кислотой.

Таблица 4. Параметры распада двух фракций сырого протеина для двух форм гороха полевого - нативного (контроль) и обработанного пропионовой кислотой (опыт)

Параметры	Контроль		Опыт	
	«Быстрая» фракция	«Медленная»	«Быстрая» фракция	«Медленная»
Доля распадаемого протеина, антилогарифм $\ln b$, % от сырого протеина (СП)	46	0,39	1,0	1,13
Относительная скорость распада*, c , час ⁻¹	0,0512	0,0038	0,014	0,009
Период полураспада**, час	13,4	183	49,7	77,3
Доля суммы растворимого и «нераспадаемого» протеина в двух фракциях, a , % от СП	53,6		97,8	

Примечания: * $\Delta p/(p \cdot \Delta t)$, т.е константа распада c , постоянная на всё протяжении периода распада; ** $T_{1/2} = 0,696/c$

В обычном масштабе динамика содержания в мешочке «быстрой» фракции выражается соотношением: $b_1(t) = 46 \cdot e^{-0,512t}$ при $t = 24$, $b_1 = 0,13\%$, т.е. этой величиной можно пренебречь, как и долей «медленной» фракции, и считать, что первая фракция размером 46% полностью распадается в мешочке, и распадаемость нерастворимого протеина размолотой пелюшки *in sacco* приблизительно равна 46%.

В отличие от распадаемости в мешочке, для оценки распадаемости этой фракции в рубце необходимо учесть прохождение в сычуг определённой части мелодисперсного протеина размолотой пелюшки вместе с жидкой фракцией рубцового соедержимого, т.е. полученную величину распадаемости нужно умножить на поправочный коэффициент, равный $c/(c+k)$, где k – константа фракционного оттока жидкого содержимого из рубца, коорую можно оценить по величине v/V , где v – среднесуточное поступления воды и слюны, л/час, а V – объём жидкой фазы содержимого рубца (Ерсков, 1985). Если принять в качестве ориентировочной оценки принять значение $k = 0,05$, то этот коэффициент равен $0,0512/0,1012 = 0,5$, и «фактическая» распадаемость пртеина в рубце в контрольной группе равна 23%. В опытной группе она, очевидно, будет снижена до величины, менее 1%. Для более строгой оценки величины распадаемости протеина в рубце необходимы дополнительные исследования

Оставаясь на традиционной оценке распадаемости *in sacco*, можно заключить, что обработка пропионовой кислотой привела к существенному уменьшению процентной доли «быстрой» фракции распадаемого протеина (с 46 до 1%) и к снижению относительной скорости распада этой фракции (с 0,0512 до 0,014 час⁻¹) в сравнении с контролем. Для «медленной» фракции оказалось характерным увеличение (примерно в 3 раза) доли распадаемого протеина с 0,39 до 1,13% и относительной скорости распада с 0,0038 до 0,009 час⁻¹. Ввиду малости процентной доли

«медленной» фракции, это увеличение можно не принимать в расчёт. Сумма значений процентной доли распадаемого протеина двух фракций в контроле составила 46,4%, а в опыте 2,13%.

Возможным физиологическим эффектом применения добавки пропионовой кислоты и снижения распадаемости протеина при обработке молотого гороха распылением пропионата может быть стимуляция обменных процессов за счёт одновременного поступления добавочного количества незаменимых аминокислот и глюкозы, как продукта метаболизации пропионата. Изучение параметров рубцовой жидкости показало, что в двух группах реакция среды содержимого рубца (рН) находилась практически на одинаковом уровне (табл. 4).

Таблица 4. Параметры рубцового пищеварения (M±m, n = 6)

Показатели	Группы	
	контроль	опыт
рН	6,6±0,1	6,5±0,1
ЛЖК, мМ	1,03±0,03	1,04±0,04
Инфузории, тыс./мл	752,0±17,5	734,0±7,8
Аммиак, мг/100 мл	16,6±0,8	13,7±0,7*
Общий белок, г/л	74,0±3,4	75,3±3,3

Примечания: здесь и далее в таблицах: *P<0,05 по *t*-критерию при сравнении с контролем.

В рубцовой жидкости бычков опытной группы, потреблявших молотое зерно пелюшки, обработанное органической кислотой, отмечено снижение уровня аммиака – на 17,5 % (P<0,05), что свидетельствует о снижении распада протеина в рубце.

Исследуемые показатели рубцового пищеварения, имея некоторые межгрупповые различия, находились в пределах физиологической нормы (Кондрахин, 2004; Медведева, 2008), что указывает на отсутствие негативного действия использованной добавки на жизнедеятельность микрофлоры рубца.

Состав крови в определённой степени отражает сдвиги в биохимических процессах, протекающих в организме при воздействии факторов кормления (Кононской, 1992). В опытной группе зафиксировано повышение уровня гемоглобина в крови (P<0,05), повышение содержания общего белка (P<0,05) и снижение содержания глюкозы (P<0,05) в плазме крови (табл. 5). В целом, показатели состава крови находились в пределах физиологической нормы.

Таблица 5. Гематологические показатели (M±m, n = 6)

Показатель	Группы	
	контроль	опыт
Эритроциты, 10 ¹² /л	6,42±0,15	6,48±0,21
Гемоглобин, г/л	115,7±1,0	119,3±0,8*
Общий белок, г/л	71,3±1,1	75,3±0,9*
Глюкоза, мМ	2,85±0,02	2,79±0,01*
Мочевина, мМ	4,57±0,24	4,23±0,12
Кальций общий, мМ	2,75±0,07	2,88±0,07
Фосфор неорганический, мМ	1,68±0,07	1,77±0,10

Таблица 6. Динамика живой массы и эффективность использования кормов подопытным молодняком (n = 6)

Показатели	Группы	
	контроль	опыт
Живая масса в конце опыта	197±2	204±2*
Валовой прирост, кг	49±1	51±2
Среднесуточный прирост, г	820±23	861±17
Затраты протеина на 1 кг прироста, кг	0,94±0,1	0,91±0,1*

Использование в рационе опытных бычков зерна пелюшки, обработанного пропионовой кислотой, обеспечило увеличение живой массы в конце опыта ($P < 0,05$) и снизило затраты протеина на 1 кг прироста ($P < 0,05$) (табл. 6).

В целом, в качестве рабочей гипотезы при интерпретации полученных результатов можно предположить, что физиологическим эффектом применения добавки пропионовой кислоты является снижение распадаемости нерастворимого протеина размолотого гороха при обработке его пропионатом была стимуляция обменных процессов за счёт одновременного поступления добавочного количества незаменимых аминокислот и глюкозы, как продукта метаболизации пропионата.

Заключение

Обработка размолотого зерна гороха пропионовой кислотой приводит к существенному уменьшению процентной доли быстро распадающейся фракции и к снижению относительной скорости распада этой фракции в сравнении с контролем.

Использование этой добавки размолотого зерна гороха, обработанного пропионовой кислотой, в составе рациона для бычков на выращивании положительно влияет на гематологические показатели и показатели роста, при этом снижаются затраты кормов на 1 кг прироста живой массы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев А.А. Обмен веществ у жвачных животных. – М. : НИЦ Инженер, 1997. – 420 с.
2. Алиев А.А. Экспериментальная хирургия. – М. : НИЦ Инженер, 1998. – 445 с.
3. Денькин А.И. Лемешевский В.О. Энергетический обмен у бычков породы абердин-ангус в период выращивания при разном уровне обменного протеина в рационе // Аграрный вестник Урала. – 2020. – № 8. – С. 34-42. <<https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-199-8-34-42>>
4. Кальницкий Б.Д. Методы исследований питания сельскохозяйственных животных. – Боровск, 1998. – 405 с.
5. Курилов Н.В. (Ред.). Изучение пищеварения у жвачных: методические указания. – Боровск: ВНИИФБиП, 1987. – 96 с.
6. Кондрахин И.П. (Ред). Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики. – М.: КолосС, 2004. – 520 с.
7. Кононской А. И. Биохимия животных. – М. : Колос, 1992. – 187 с.
8. Курилов Н.В. (Ред.) Новая система оценки и нормирования протеинового питания коров. – Боровск, 1989. – 104 с.
9. Лемешевский В.О., Харитонов Е.Л., Остренко К.С. Рубцовое пищеварение у бычков при разном соотношении распадаемого и нераспадаемого протеина в рационе // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2020. – № 2. – С. 90-98. <<https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbio1.2020.2.90-98>>
10. Медведева, М.А. Клиническая ветеринарная лабораторная диагностика. – М.: ООО Аквариум-Принт, 2008. – 416 с.
11. Натынчик Т.М., Радчиков В.Ф., Кот А.Н. Бесараб Г.В., Лемешевский В.О. Распадаемость протеина в рубце бычков при химических способах обработки зерна бобовых // Материалы междуна. научно-практ. конф. «От инерции к развитию: научно-инновационного обеспечения животноводства и биотехнологий». – Екатеринбург: Уральский ГАУ, 2020. – С. 139-142.
12. Овчаренко Э.В. Обмен энергии у высокопродуктивных коров. – М.: Агропромиздат, 1975. – 69 с.
13. Погосян, Д. Г. Качество протеина в кормах для жвачных животных : монография. – Пенза : РИО ПГСХА, 2014. – 133 с.
14. Харитонов Е.Л. (Ред.) Физиологические потребности в энергетических и пластических субстратах и нормирование питания молочных коров с учетом доступности питательных веществ. – Боровск: ВНИИФБиП, 2007. – 124 с.
15. Харитонов Е.Л. Методические и инструментальные подходы к изучению физиологических и биохимических процессов образования конечных продуктов переваривания у продуктивных жвачных животных // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2008. – № 4. – С. 42-71.
16. Харитонов Е.Л., Погосян Д.Г. Повышение протеиновой питательности кормов для молочных коров. – Боровск, 2010. – 50 с.

17. Харитонов Е. Л. Физиология и биохимия питания молочных коров. – Боровск: ВНИИФБиП, 2011. – 311 с.
18. Черепанов Г.Г. Системно-кинетические принципы и модели в теории питания продуктивных животных. – Боровск: ВНИИФБиП, 2002. – 163 с.
19. Andrade-Montemayor H., Gasca T.G., Kawas J. Ruminant fermentation modification of protein and carbohydrate by means of roasted and estimation of microbial protein synthesis // R. Bras. Zootec. – 2009. – Vol. 38. – P. 277-291.
20. Dijkstra J.M., Forbes J.M., France J. (Eds). Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism. – Wallingford: CAB International Publ., 2005. – 734 p.
21. Lemiasheuski V.O. Substrate energy use by calves for weight gain // J. Agroalim. Proces. Technol. – 2017. – Vol. 23. – No. 1. – P. 24-30. ISSN: 2069-0053 (print)
22. Schwab C.G., Tylutki T.P., Ordway R.S., Sheaffer C., Stern M.D. Characterization of Proteins in Feeds // J. Dairy Sci. – Vol. 86. – (Suppl E) . – E88-E103
23. Theodorou M.K., France J. (Eds). Feeding systems and feed evaluation models. – Wallingford: CAB International, 2000. – 481 p.

REFERENCES

1. Aliev A.A. *Obmen veshchestv u zhvachnykh zivotnykh* (Metabolism in ruminants). Moscow: NITs Inzhener Publ., 1997, 420 p.
2. Aliev A.A. *Ekspierimental'naya khirurgiya* (Experimental surgery). Moscow: NITs Inzhener Publ, 1998, 445 с.
3. Andrade-Montemayor H., Gasca T.G., Kawas J. Ruminant fermentation modification of protein and carbohydrate by means of roasted and estimation of microbial protein synthesis. R. Bras. Zootec. 2009, 38: 277-291.
4. Cherepanov G.G. *Sistemno-kineticheskie printsipy i modeli v teorii pitaniya produktivnykh zivotnykh* (System-kinetic principles and models in the theory of nutrition of productive animals). Borovsk: VNIIFBiP Publ., 2002, 163 p.
5. Den'kin A.I. Lemeshevskii V.O. [Energy metabolism in Aberdeen Angus bulls during the rearing period with different levels of exchangeable protein in the diets]. *Agrarnyi Vestnik Urala - Agrarian Bulletin of Ural*. 8: 34-42. <<https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-199-8-34-42>>
6. Dijkstra J.M., Forbes J.M., France J. (Eds). *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. Wallingford: CAB International Publ., 2005, 734 p.
7. Kal'nitskii B.D. *Metody issledovaniya pitaniya sel'skokhozyaistvennykh zivotnykh* (Research Methods for Nutrition of Farm Animals). Borovsk: VNIIFBiP Publ., 1998, 405 p.
8. Kharitonov E.L. (Ed.) *Fiziologicheskie potrebnosti v energeticheskikh i plasticheskikh substratakh i normirovanie pitaniya molochnykh korov s uchetom dostupnosti pitatel'nykh veshchestv* (Physiological needs for energy and plastic substrates and rationing of nutrition of dairy cows, taking into account the availability of nutrients). Borovsk: VNIIFBiP Publ., 2007, 124 p.
9. Kharitonov E.L. *Metodicheskie i instrumental'nye podkhody k izucheniyu fiziologicheskikh i biokhimicheskikh protsessov obrazovaniya konechnykh produktov perevarivaniya u produktivnykh zhvachnykh zivotnykh* (Methodical and instrumental approaches to the study of physiological and biochemical processes of the formation of end products of digestion in productive ruminants). *Problemy biologii produktivnykh zivotnykh - Problems of Productive Animal Biology*. 2008, 4: 42-71.
10. Kharitonov E.L., Pogosyan D.G. *Povyshenie proteinovoi pitatel'nosti kormov dlya molochnykh korov* (Increasing the protein nutritional value of feed for dairy cows). Borovsk: VNIIFBiP Publ., 2010, 50 p.
11. Kharitonov E. L. *Fiziologiya i biokhimiya pitaniya molochnykh korov* (Physiology and biochemistry of nutrition of dairy cows). Borovsk: VNIIFBiP Publ., 2011. 311 p.
12. Kondrakhin I.P. (Ed.). *Metody veterinarnoi klinicheskoi laboratornoi diagnostiki* (Veterinary clinical laboratory diagnostic methods). Moscow: KolosS Publ, 2004, 520 p.
13. Kononskoi A.I. *Biokhimiya zivotnykh* (Animal biochemistry). Moscow: Kolos Publ., 1992, 187 p.
14. Kurilov N.V. (Ed.) *Novaya sistema otsenki i normirovaniya proteinovogo pitaniya korov* (New system for assessing and rationing protein nutrition of cows). Borovsk: VNIIFBiP Publ., 1989, 104 p.
15. Kurilov N.V. (Ed.). *Izuchenie pishchevareniya u zhvachnykh: metodicheskie ukazaniya* (Study of digestion in ruminants: guidelines). Borovsk: VNIIFBiP Publ., 1987, 96 p.
16. Lemeshevskii V.O., Kharitonov E.L., Ostrenko K.S. [Ruminal digestion in bulls with different ratios of degradable and non-degradable protein in the diet]. *Problemy biologii produktivnykh zivotnykh - Problems of Productive Animal Biology*. 2020, 2: 90-98. <<https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2020.2.90-98>>
17. Lemiasheuski V.O. Substrate energy use by calves for weight gain. *J. Agroalim. Proces. Technol*. 2017, 23(1): 24-30. ISSN: 2069-0053 (print)

18. Medvedeva M.A. *Klinicheskaya veterinarnaya laboratornaya diagnostika* (Clinical veterinary laboratory diagnostics). Moscow: Akvarium-Print Publ., 2008, 416 p.
19. Natynchik T.M., Radchikov V.F., Kot A.N., Besarab G.V., Lemeshevskii V.O. [Degradability of protein in the rumen of gobies with chemical methods of processing legumes]. In: *Mat. mezhdun. nauchno-prakt. konf. «Ot inertsii k razvitiyu: nauchno-innovatsionnogo obespecheniya zhivotnovodstva i biotekhnologii»* (Mat. Intern. Scient. Pract. Conf. "From inertia to development: scientific and innovative support of animal husbandry and biotechnology). Ekaterinburg: Ural'skii GAU Publ., 2020, P. 139-142.
20. Ovcharenko E.V. *Obmen energii u vysokoproduktivnykh korov* (Energy exchange in highly productive cows). Moscow: Agropromizdat, 1975, 69 p.
21. Pogosyan, D. G. *Kachestvo proteina v kormakh dlya zhvachnykh zhivotnykh* (Protein quality in ruminant feed). Penza: PGSKhA. 2014, 133 p.
22. Schwab C.G., Tylutki T.P., Ordway R.S., Sheaffer C., Stern M.D. Characterization of proteins in feeds. *J. Dairy Sci.* 86(Suppl E): E88-E103
23. Theodorou M.K., France J. (Eds). *Feeding systems and feed evaluation models*. Wallingford: CAB International, 2000, 481 p.

Physiological and productive effects of processing of grinded peas by propionic acid for protection from ruminal degradation in growing bulls

Lemeshevsky V.O., Kharitonov E.L., Ostrenko K.S.

*Institute of Physiology, Biochemistry and Animal Nutrition –
Branch of Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry,
Borovsk, Kaluga oblast, Russian Federation*

ABSTRACT. The purpose of the work is to study the in sacco degradability of protein in the rumen, physiological parameters and productive qualities of reared Black-and-White bulls when feeding ground pea grains treated with propionic acid. 2 groups of black-and-white bulls were formed, 3 heads each at the age of 4 months with an initial live weight of 150 kg. The ration consisted of herbal haylage, corn silage and compound feed. In group I (control), 0.5 kg of ground pea grains was added to the main diet, in group II (experimental) – the same additive, sprayed with a 20% propionic acid solution at the rate of 5% acid by weight of the additive. The treatment of the pea additive with propionic acid led to a significant decrease in the percentage of the rapidly degradable fraction (from 46 to 1% of crude protein) and to a decrease in the relative rate of degradation of this fraction (from 0,051 to 0.014 hr⁻¹) in comparison with the control. The sum of the values of the percentage of degradable protein of the two fractions in the control was 46.4%, and in the experiment – 2.13%. In the experimental group, the content of ammonia in the rumen fluid was reduced (P<0.05), the concentration of hemoglobin (P<0.05) and total protein (P<0.05) in the blood increased, and the glucose and urea content in the blood plasma was reduced (P< 0.05). In the experimental group, there was a decrease in the consumption of feed protein for gain in live weight over the period of the experiment by 3.2% (P<0.05). It was concluded that the treatment of crushed pea grains with propionic acid reduces protein degradability, and its use in the diet has a positive effect on hematological indices and growth rates of bulls, while reducing feed costs (P<0.05) per 1 kg of live weight gain.

Keywords: growing bulls, rumenal digestion, microbial fermentation, degradable protein, VFA, ammonia, propionic acid, growth rate,

Problemy biologii productivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology, 2017, 4: 82-91

Поступило в редакцию: 01.12.2020

Получено после доработки: 23.12.2020

Лемешевский Виктор Олегович, к.с/х.н., н.с, тел. +7(910)917-39-90;

Харитонов Евгений Леонидович, д.б.н., дир, тел. 8(903)817-57-04; evgenijkharito@yandex.ru;

Остренко Константин Сергеевич, д.б.н., зав. лаб., тел. +7(910)916-66-58, Ostrenkoks@gmail.com