УДК 636.084.087.8:615.355

https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-348-4-35-43

Краткий обзор/Brief review

Крюков В.С.¹, Зиновьев С.В.², Некрасов Р.В.³, Глебова И.В.⁴, Галецкий В.Б.⁵

- ¹ ООО «Кормогран», Москва, РФ, kryukov.v.s@mail.ru
- ² ВНИИПП филиал ФНЦ ВНИТИП, п. Ржавки Московской обл., РФ, neollit_13@mail.ru
- ³ ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, Подольск пос., Дубровицы, РФ, nek roman@mail.ru
- ⁴ Курская ГСХА, Курск, РФ, snow1968@inbox.ru:
- ⁵ Гатчинский ККЗ, Ленинградская обл., Гатчинский р-н, д. Малые Колпаны, РФ, vl.galetski@gmail.com

Ключевые слова: ферментные препараты, карбоксилазы, протеазы, фитазы, переваримость, эффективность использования

Для цитирования: Крюков В.С., Зиновьев С.В., Некрасов Р.В., Глебова И.В., Галецкий В.Б. Полиферментные препараты в кормлении моногастричных животных. Аграрная наука. 2021; 348 (4): 35–43.

https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-348-4-35-43

Конфликт интересов отсутствует

Valery S. Kryukov¹, Sergey V. Zinoviev², Roman V. Nekrasov³, Ilona V. Glebova⁴, Vladimir B. Galetsky⁵

- ¹ Kormogran LLC, Moscow, Russia;
- ² VNIIPP branch of the VNITIP Federal Research Center, Rzhavki village, Moscow region, Russia
- ³ L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Podolsk, Dubrovitsy, Moscow Region, Russian Federation
- ⁴ Kursk State Agricultural Academy, Kursk, Russia
- ⁵ Gatchina KKZ, Leningrad region. Gatchinsky district, Malye Kolpany village, Russian Federation

Key words: enzyme preparations, carbohydrases, proteases, phytases, digestibility, efficiency of use

For citation: Kryukov V.S., Zinoviev S.V., Nekrasov R.V., Glebova I.V., Galetsky V.B. Polyenzyme preparations in feeding of monogastric animals. Agrarian Science. 2021; 348 (4): 35–43. (In Russ.)

https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-348-4-35-43

There is no conflict of interests

Полиферментные препараты в кормлении моногастричных животных

РЕЗЮМЕ

Для кормовых целей в основном используют ферментные препараты, которые содержат ферменты, не вырабатываемые в организме животных, хотя у цыплят первых недель жизни и поросят после отъема образуется недостаточное количество собственных протеаз и амилаз, поэтому их включение в корма тоже оказывается полезным. К настоящему времени созданы и производятся высокоактивные ферментные препараты, обладающие различными специфическими активностями. В кормах, приготовленных с использованием традиционного сырья, до 30% питательных веществ недоступны для переваривания ферментами, секретируемыми в ЖКТ. Включение в корма экзогенных ферментов обеспечивает дополнительное использование непереваримой фракции. Достичь полной переваримости кормов невозможно, хотя *in vitro* экзогенные ферменты переваривают почти до 100% целевых субстратов. Проблема обусловлена тем, что в естественных кормах нет чистых субстратов — они связаны с другими веществами, которые ограничивают доступность к ним ферментов. Свойства естественных субстратов, их концентрация и доступность даже в одном и том же сырье изменчивы, что исключает надежное прогнозирование эффективности действия кормовых ферментов. Частично эти трудности преодолевают путем использования полиферментных препаратов. Необходимо дальнейшее изучение специфики нативных субстратов и факторов, повышающих их доступность для действия ферментов.

Polyenzyme preparations in feeding of monogastric animals

ABSTRACT

In animal feeding enzyme preparations are mainly used, which are not produced in the body of animals, although in chickens in the first weeks of life and piglets after weaning an insufficient amount of their own proteases and amylases is formed, so their inclusion in feed is also useful. By now highly active enzyme preparations with various specific activities have been created and are being produced. In feeds prepared using traditional raw materials up to 30% of nutrients are not available for digestion by enzymes secreted in the gastrointestinal tract. The inclusion of exogenous enzymes in the feed provides additional use of the indigestible fraction. It is impossible to achieve complete digestibility of feed, although in vitro exogenous enzymes digest almost 100% of the target substrates. The problem is due to the fact that natural feed does not contain pure substrates — they are associated with other substances that limit the availability of enzymes to them. The properties of natural substrates, their concentration and availability even in the same raw material are variable, which excludes reliable prediction of the effectiveness of the action of feed enzymes. Partially these difficulties are overcomed by the use of polyenzyme drugs. It is necessary to further study the specificity of native substrates and factors that increase their availability for the action of enzymes.

Поступила: 2 апреля После доработки: 12 апреля Принята к публикации: 15 апреля Received: 2 April Revised: 12 April Accepted: 15 April

Вступление

В последние 10-15 лет благодаря достижениям генной инженерии и биотехнологии удалось создать ферменты с заданными свойствами и гарантированным качеством. Производители подтвердили их действие в лабораторных условиях и затем на основании полученных результатов разработали условия применения их в животноводстве. Положительные результаты производственных испытаний дали основания для их промышленного производства. Однако в практических условиях включение ферментных препаратов в комбикорма не всегда обеспечивает ожидаемую отдачу. Поскольку потребители работают с ферментным препаратом, то при негативных результатах делается вывод о его неэффективности. С этим можно согласиться, если детально разобраться с причинами, однако практики этого не делают: не их это задача.

Действие ферментов

О свойствах ферментов судят по их действию на чистые субстраты. На этом принципе разработаны методы определения активности ферментов (ГОСТ Р 53047-2008: FOCT P 53046-2008: FOCT P 53360-2009: FOCT P ИСО 30024-2012; ГОСТ 34430-2018) [1]. В комбикормах субстраты связаны с другими веществами корма, что ограничивают их контакт с ферментами. Ферменты не действуют, а взаимодействуют с субстратами, поэтому для достижения ожидаемого результата в корме должно содержаться их необходимое количество. Если ферменты хорошо охарактеризованы, то информация о количестве субстратов и их доступности даже для специалистов по питанию ограничена и тем более ею не располагают потребители. В результате содержание субстратов в комбикормах складывается стихийно и подвержено изменчивости. Это основная причина нестабильных результатов при использовании ферментов [2, 3].

В настоящее время для промышленного применения доступны ксиланазы, глюканазы, амилазы, маннаназы, пектиназы, протеазы, фитазы и реже используют другие. Учитывая множественность субстратов в комбикормах промышленного изготовления, в них включают одновременно несколько ферментов, тогда как моноферменты используют ограниченно. Пищеварение представляет собой иерархический процесс воздействия на питательные вещества по мере их продвижения по ЖКТ. Одни ферменты действуют в кислой среде желудка, где начавшиеся процессы переваривания (гидролиз) ведут к образованию менее крупных частей исходных молекул. В нейтральной среде кишечника ферменты желудка теряют активность; процесс пищеварения продолжаются под действием других ферментов, ведущих к образованию мономеров, способных всасываться.

Включение в корма экзогенных ферментов оказывает влияние на этот эволюционно сложившийся процесс. Добавляемые ферменты, чтобы повысить эффективность использования питательных веществ, должны попадать в то место, где проявление их активности будет улучшать переваривание питательных веществ.

Карбогидразы, используемые в кормлении, подвергают гидролизу β-связи между молекулами моносахаридов, которые участвуют в построении полисахаридов стенок клеток растений. Ферменты такого типа животные не продуцируют [4]. В связи с невозможностью четко оценить свойства сырья в отношении содержащихся в нем субстратов и их ферментативной доступности

результаты действия ферментов чаще прогнозируют, основываясь на информации из рекламных проспектов или на личных ожиданиях.

Факторы, определяющие эффективность действия ферментов. Предполагают, что все продукты переваривания некрахмальных полисахаридов (НПС) полезны для животного, однако в составе большинства коммерческих препаратов присутствуют эндоферменты, которые расщепляют молекулы непереваримых субстратов на несколько относительно крупных частей, которые не способны всасываться. Положительное действие карбогидраз долго связывали со снижением вязкости содержимого кишечника у птиц, которое объясняли расщеплением растворимых ксиланов [5]. Позднее установили позитивное влияние ксиланазы при ее включении в корма, приготовленные на основе кукурузы, которая не повышает вязкости кишечного содержимого. Предположили, что положительное действие карбогидраз связано с разрушением клеточных стенок кормов, приводящим к повышению доступа собственных ферментов к внутриклеточным белкам, крахмалу и другим веществам [6]. Это предположение позволяет объяснить результаты взаимодействия карбогидраз с другими ферментами и получило распространение, но оно не было доказано прямыми наблюдениями. Сравнительно недавно, изучая влияния ксиланазы на переваримость крахмала с помощью сканирующего микроскопа, удалось установить, что материал клеточных стенок, присутствующий в химусе тонкого кишечника, не претерпевал существенного изменения. При этом переваримость крахмала ожидаемо повысилась: авторы сделали вывод, что ксиланаза действует через косвенный механизм, вызывая секрецию нейропептида РҮҮ, который способствует переваримости протеиновой оболочки крахмальных гранул, облегчая действие эндогенной амилазы [7].

Обобщение результатов по перевариванию протеина в подвздошной кишке свиней и птиц, получавших корм с включением ксиланазы, фитазы или их суммы, показало, что оба фермента, не обладающие протеолитическим действием, создавали условия для повышения переваримости протеина собственными ферментами (табл. 1) [8]. При совместном добавлении в корм ксиланаз и фитаз их действие складывалось, но оно обычно было ниже расчетной суммы переваримости каждой аминокислоты под влиянием одного из ферментов. Высокую результативность одновременного действия двух ферментов можно объяснить тем, что их влияние на переваримость аминокислот и их доступность в целом реализуется разными, не конкурирующими механизмами, которые недостаточно изучены, и их толкование основывается на предположениях [1].

Карбогидразы начали использовать в промышленном кормопроизводстве лет на 20 раньше, чем фитазы, однако последние быстро получили распространение в связи с более устойчивым улучшением продуктивности.

Неустойчивость результатов при применении карбогидраз не связана с качеством современных ферментных препаратов — она обусловлена множественностью их субстратов и изменчивостью их концентрации даже в пределах одного вида сырья, то есть трудностью определения концентрации субстратов и их доступности, что создает проблемы при обосновании вида подходящей карбогидразы. Использование разных карбогидраз на фоне кормов, отличающихся по количеству и доступности субстратов, ведет к образованию мало изученного спектра конечных продуктов, со слабо изученным их

Таблица 1. Влияние ксиланазы, фитазы и ксиланазы + фитазы на перевариваемость аминокислот в подвздошной кишке у птицы и свиней, получавших комбикорма, приготовленные на основе пшеницы [8]

Table 1. The effect of xylanase, phytase and xylanase+phytase on ileal amino acid digestibility coefficients in wheat-based diets for poultry and swine (from [8])

Аминокислоты	Ксиланаза, % (1)	Фитаза, % (2)	Расчетная сумма (1 + 2), %	Фактическая переваримость, (1 + 2), %
Ala	3,91	5,72	9,63	8,54
Arg	1,67	2,67	4,35	4,34
Asp	4,95	5,34	10,29	4,68
Cys	0,14	0,47	0,61	0,47
Glu	2,98	2,86	5,83	4,04
Gly	4,54	4,78	9,31	7,57
His	2,82	2,53	5,35	4,78
lle	2,88	3,51	6,39	3,96
Leu	2,29	3,21	5,50	3,80
Lys	2,93	3,80	6,73	4,66
Met	-0,39	1,69	1,30	-1,37
Phe	3,23	3,80	7,02	4,08
Pro	2,58	2,88	5,46	3,34
Ser	4,16	5,04	9,20	4,99
Thr	2,01	3,75	5,77	4,36
Try	0,53	5,28	5,80	4,88
Tyr	2,73	4,03	6,76	4,80
Val	3,07	4,33	7,40	5,23
В среднем	2,61	3,65	6,26	4,29

действием на обмен веществ и здоровье животных. В отличие от НПС, содержание фитатов в кормах изучено более полно и доступно для анализа в лабораториях, контролирующих качество сырья, поэтому результаты применения фитаз носят более определенный характер по сравнению с другими ферментами. Из общей физиологии пищеварения известно, что образование и секреция эндогенных ферментов быстро адаптируются к составу потребляемой пищи, в то же время экзогенные ферменты лишены такой возможности. Их концентрация и вид определяются человеком, поэтому действие эндогенных ферментов в известной мере вызывает изменение эволюционно сложившегося естественного процесса. Подтверждение этому факту можно найти в публикациях, свидетельствующих об изменениях активности эндогенных ферментов под влиянием кормовых ферментных препаратов [9, 10].

Обоснование создания полиферментных препаратов

Существует два направления учета действий кормовых ферментов, по которым они повышают прибыльность производства. Одно, наиболее обсуждаемое и очевидное, связано с повышением переваримости питательных веществ корма, приводящим к более полному их использованию и уменьшению расхода корма. Это направление интенсивно изучается, установлены механизмы действия ферментов, согласно которым достигается улучшение использования отдельных питательных веществ и корма в целом [11]. Другое направление ме-

нее очевидно и связано с влиянием ферментов на физиологию пищеварения, здоровье кишечника, состав туши и качество продукции, нормализацией иммунитета и сохранностью поголовья. Специфика действия ферментов и состава кормов приводит к тому, что использования одного фермента недостаточно для получения максимальной пользы: необходимо использовать несколько различных ферментов, которые путем взаимодополняющего действия обеспечивают лучшее использование питательных веществ из рациона [12].

На рынке предлагают ферментные препараты, обладающие несколькими активностями. Их получают путем смешивания ранее произведенных препаратов, обладающих моноактивностью. Некоторые ферментные препараты могут представлять собой естественную смесь ферментов, образуемых одним продуцентом в процессе роста — их иногда называют ферментными «коктейлями». Публикации, посвященные изучению свойств таких коктейлей, ограничены. На примере изучения штамма Aspergillus tamarii URM 4634 было установлено, что на продукцию фитазы, ксиланазы и целлюлазы влиял состав сред: в зависимости от их особенностей менялись концентрация и соотношение продуцируемых ферментов.

На активность отдельных ферментов в составе коктейлей невозможно влиять с целью обеспечения их нужной концентрации и соотношения. В условиях, моделирующих ЖКТ, наибольшая устойчивость к пепсину была у фитазы -89,2%; под влиянием трипсина активность фитазы и ксиланазы снизилась по отношению к исходной, тогда как активность целлюлазы по необъяснимым причинам возросла в 2,2 раза [13]. Если штамм-продуцент выделяет в культуральную среду несколько ферментов, то с помощью генной инженерии удается улучшить потребительские свойства одного фермента из набора, но не всех одновременно. Поэтому, по нашему мнению, предпочтение следует отдавать полиферментным продуктам, которые производят путем смешивания моноферментных препаратов, поскольку последние созданы с целевыми гарантированными свойствами.

Исходя из изучения применения ферментов в кормлении животных, пришли к убеждению о необходимости использования карбогидраз, позднее к ним добавились фитазы. Среди карбогидраз наиболее широкое распространение получили ксиланазы, амилазы и глюканазы. Учтем, что основная доля энергии в зернах злаков связана с крахмалом, который находится внутри клеток растений, стенки которых построены из НПС, ограничивающих доступность собственных ферментов внутрь клеток. Следовательно, добавление в корм ферментов, способных разрушать полисахариды клеточной стенки, может обеспечить лучший доступ ферментов поджелудочной железы к питательным веществам [14]. На основании изучения результатов многочисленных

исследований можно обосновать ряд рецептов полиферментных препаратов, однако в связи со слабой изученностью специфики строения субстратов корма, их связей с другими веществами, подтвердить предположение об их эффективности можно только после испытаний на животных.

Изучение in vitro изменения концентрации полисахаридов пшеницы под влиянием целлюлазы, ксиланазы и глюканазы показало, что наиболее активно снижалось их содержание под влиянием целлюлазы + ксиланазы/глюканазы. Расщепление изученных полисахаридов, кроме ксиланов, под влиянием ксиланазы было слабее, чем под влиянием целлюлазы. Действие ксиланазы усиливалось в присутствии глюканазы и еще больше — целлюлазы + глюканазы (табл. 2).

Приведенные данные показывают, что одни ферменты создают условия для действия других. Эндоксиланазы расщепляют арабиноксиланы путем гидролиза основной цепи ксилана, однако множественные ответвления от нее в виде остатков арабинозы тормозят действие ксиланаз. Включение в состав кормового фермента арабинофуранозидазы ведет к отщеплению арабинозы от основной цепи ксилана, открывая доступ к ней эндоксиланазы, и повышает общую эффективность ферментного препарата [16, 17]. В следующем опыте изучи-

ли влияние вышеназванных ферментов + пектиназа на переваримость питательных веществ в подвздошной кишке и рост цыплят-бройлеров, получавших с 5-го по 18-й день пшенично-соевый рацион (табл. 3).

В условиях эксперимента переваримость НПС под влиянием различных сочетаний ферментов повысилась более чем в 2 раза и мало зависела от испытанных вариантов. Расщепление крахмала и протеина повышалось при использовании всех сочетаний ферментов, хотя ни одно из них не обладало амилолитической или протеолитической активностями. Эти данные позволяют сделать вывод, что *in vivo* различные испытанные сочетания карбогидраз не проявляли аддитивного действия, но примерно одинаково улучшали условия для переваривания протеина и крахмала под влиянием эндогенных ферментов. Все испытанные сочетания ферментов повысили прирост живой массы за период опыта, одновременно повысилась эффективность использования корма. Исходя из данных таблиц 2 и 3, следует, что результаты измерений действия ферментов in vitro и in vivo, полученные даже в одной лаборатории, совпали по направленности действия только в том случае, когда в корм включали одновременно все испытанные ферменты. Различие между действием in vitro и in vivo заключается в том, что in vitro на субстраты действуют только экзогенные ферменты, включенные в среду инкубации, тогда как *in vivo* экзогенные ферменты дополнительно еще создают условия для действия эндогенных фер-

Таблица 2. Остатки некрахмальных полисахаридов (НПС) в среде после инкубации *in vitro* пшеницы с различными карбогидразами [15]

Table 2. Residues of non-starch polysaccharides (NPS) in the medium after in vitro incubation of wheat with various carbohydrases [15]

	Сахара, г/кг					
Фермент	Арабиноза	Ксилоза	Манноза	Галактоза	Общие, НПС	
-	19,9a	24,7a	3,6	3,4	87,8a	
Целлюлаза (Ц)	12,2cd	15,9b	2,8	3,2	65,2cd	
Ксиланаза (К)	14,7b	14,7c	2,9	3,7	68,7b	
Ц + К	13,1bc	12,3cd	3,3	3,8	62,0d	
Ксиланаза/глюканаза (К/Г)	12,3cd	13,1cd	3,3	3,1	63,2d	
Ц + К/Г	10,6d	11,0d	2,8	2,9	55,0	

а – f — средние значения с разными надстрочными знаками достоверно различаются (P < 0.05)

Таблица 3. Коэффициенты переваримости питательных веществ рациона, %

Table 3. Effect of Exogenous Carbohydrases on Nutrient Digestibility and Chick Growth (adapted from [15])

Фермент*	Переваримость, %			Ununcer r/ser	Корм/прирост,
Фермент	НПС	Крахмал	Протеин	Прирост, г/гол.	КГ
-	6,3	92,6	73,2	436b	1,53a
Ц + П	14,0	94,7	76,3	459a	1,50b
Ц + КГ	14,0	95,7	77,5	470a	1,48b
Ц + П + КГ	12,8	95,6	77,2	456a	1,49b
Ц + П + КГ + МЦ	14,9	96,7	79,8	466a	1,45c

а – с — средние значения с разными надстрочными знаками достоверно различаются (P < 0.05)

ментов на находящиеся внутри клеток белки, липиды, крахмал. В результате прирост продуктивности отражает суммарный эффект действия экзогенных и эндогенных ферментов. Этот подход важен для практических выводов, он не позволяет выявить механизм действия каждого фермента и его значимость в составе препарата [18]. В условиях практического животноводства проблему для прогнозирования эффективности действия ферментов создает значительная вариабельность состава НПС и частая изменчивость набора компонентов рациона, что обусловливает изменения в содержании потенциальных субстратов и их соотношении [19]. Многочисленные наблюдения позволили прийти к выводу о целесообразности использования полиферментных препаратов, особенно препаратов с карбогидразной активностью [20].

Влияние полиферментных препаратов и их компонентов на продуктивность

В одних случаях совместное включение амилазы, ксиланазы и протеазы в комбикорм кукурузно-соевого типа повышало продуктивность бройлеров [6], тогда как в других исследователи не нашли преимуществ применения поликарбогидраз по сравнению с препаратами, обладающими моноактивностью [18]. Испытание на поросятах полиферментного «коктейля» с преимущественным содержанием эндо-β-1,4 ксиланазы и эндо-β-1,3(4)-глюканазы показало, что на фоне

 $^{^*}$ Ц — целлюлаза, П — пектиназа, КГ — ксиланаза + глюканаза, МЦ — маннаназа + целлюлаза

кукурузно-соевого рациона под влиянием ферментов произошло снижение прироста живой массы на 15%. В этом же опыте на фоне рациона, содержащего в равных долях пшеницу, рожь и ячмень, среднесуточный прирост под влиянием ферментного препарата возрос на 17% и живая масса поросят была выше, чем на фоне кукурузно-соевого рациона. Расход корма на прирост снизился у поросят, получавших корм, приготовленный на основе смеси злаков. Переваримость крахмала, протеина и энергии была ниже под влиянием ферментного препарата у поросят, получавших кукурузно-соевый рацион [21]. Интересно отметить, что у поросят, потреблявших корм, состоящий из смеси злаков, вязкость кишечного содержимого была примерно в 2 раза выше, чем у получавших корм с кукурузой, и она повышалась под влиянием ферментного препарата на фоне обоих рационов. Из этого следует, что вязкость химуса не всегда снижается под влиянием карбогидраз и не является фактором, ограничивающим продуктивность. Особенно выраженное преимущество по привесам отмечено у поросят в первую неделю после начала скармливания испытуемых кормов. Физиологические наблюдения не позволили объяснить этот феномен. Приведенные данные очередной раз подтверждают важность учета состава субстратов в скармливаемых кормах, их физического состояния и взаимодействия эндогенных и экзогенных ферментов. В исследовании на растущих индейках включение ксиланазы и β-глюканазы в рацион, состоящий из пшеницы или пшеницы и ячменя, повышало использование энергии корма, прирост живой массы и эффективность использования корма на прирост [22]. Исходя из приведенных данных необходимо продолжить исследования для выявления условий, определяющих эффективное использование в-глюканазы.

Использование маннаназы и амилазы в составе полиферментных препаратов начало получать распространение в последние годы. Субстратом β-маннаназы являются β-маннаны, присутствующие в стенке растительных клеток в виде глюкоманнанов, галактоманнанов, глюкогалактоманнанов и глюкурономаннанов [23]. Установлено, что *in vitro* β-маннаназа неспецифично расщепляет β-1,4-гликозидные связи в β-маннанах, приводя к образованию тетрамеров и триммеров и в меньшем количестве — маннозы и маннобиозы [24]. Изучение действия коммерческого препарата, обладающего преимущественно β-маннаназной активностью, на цыплятах кросса Хаббард показало его благоприятное действие на фоне комбикормов с пониженным содержанием ОЭ [25]. В опыте на поросятах-отъемышах, получавших кукурузно-соевый рацион, β-маннаназа не влияла на рост, однако под ее влиянием повысилась переваримость липидов корма, высота ворсинок тощей кишки и снизилось количество E. coli в слепой кишке [26]. Хотя в ряде работ сообщалось о положительном действии β-маннаназы на рост и усвояемость питательных веществ у поросят, эти данные не носят стабильного характера и требуют выяснения условий для успешного применения [27, 28, 29, 30]. Недавно проведенный метаанализ результатов, взятых из 67 рецензируемых публикаций, показал, что включение β-маннаназы в состав полиферментных комплексов улучшало рост поросят и эффективность использования корма [31].

Амилаза активно вырабатывается в организме, что обеспечивает высокую переваримость крахмала. Однако в связи с пониженной ее секрецией в первые 2-3 недели жизни у цыплят крахмал переваривается не полностью [15, 32]. Хотя крахмал (α -глюкан) построен

только из молекул глюкозы, он не является однородным веществом и существует в различных кристаллических формах с различной растворимостью. При связывании глюкозы α -1,4 связями образуется линейный полимер — амилоза и при дополнительном связывании глюкозы в положениях α -1,6 образуется амилопектин. Цыплята секретируют только α -1,4-глюкозидазу (α -амилазу), которая не расщепляет α -1,6-глюкозидную связь: для ее разрыва необходима изо-амилаза (α -1,6-глюкозидаза). Лучшую переваримость крахмала цыплятами и их рост наблюдали при соотношении амилоза/амилопектин в корме 0,23–0,35 [33]. У поросят-отъемышей полнее переваривались сухие вещества, жир, протеин и энергия при соотношении амилоза/амилопектин 0,14 [34].

При одновременном включении в корм амилазы и ксиланазы у цыплят наблюдали более высокую переваримость крахмала в подвздошной кишке по сравнению с тощей кишкой [35]. Возможно, это обусловлено тем, что по мере перемещения содержимого по кишечнику повышалось расщепление протеина крахмальных гранул, сопровождающееся улучшением доступности амилазы к крахмалу. Химические свойства и действие ферментов *in vitro* хорошо изучены, но как они проявляется в организме животных и почему их применение не всегда оправдывает ожидания, все еще остается предметом многочисленных дискуссий и исследований. Проблемы связаны с тем, что прямое действие амилазы сопровождается рядом отдаленных эффектов, проявление которых недостаточно охарактеризовано. Так, установлено, что под влиянием экзогенной амилазы снижается масса поджелудочной железы и уменьшается секреция инсулина, который влияет на рост молодняка [9]. Предполагают, что экзогенная амилаза влияет на активность дисахаридазы в кишечнике, повышая количество доступной глюкозы и одновременно ее абсорбцию через экспрессию мРНК переносчика глюкозы [10, 36]. В результате удачно складывающегося влияния на состояние организма может повышаться рост цыплят и эффективность использования корма [37, 38, 39]. В других исследованиях добавление α-амилазы в корм не улучшало перевариваемости крахмала [40] и продуктивности [39, 41]. Предполагаем, что неустойчивость результатов присуща не действию ферментов, а неодинаковым условиям экспериментов, в которых их используют.

Доказательства эффективности применения экзогенных ферментов в свиноводстве менее устойчивы. Причины этих различий связывают с различиями в типах и качестве зерна злаков, возрасте животных и свойствах используемых ферментов [42]. Хотя эти факторы следует учитывать, однако они не могут быть определяющими, так как сырьевой набор комбикормов для птицы и свиней фактически одинаков. Главной причиной в данном случае являются существенные различия в строении пищеварительной системы и времени пребывания перевариваемого корма в желудке и кишечнике, а также особенности самого процесса переваривания корма. В эксперименте на поросятах-отемышах было показано успешное применение комплексного препарата, содержащего ксиланазу, амилазу и протеазу. Под влиянием ферментов значительно возрастал уровень переваренных аминокислот и обменной энергии корма. В кишках возрастала концентрация масляной, пропионовой и уксусной кислот, что привело к снижению количества колиформных бактерий и увеличению лактобацилл. В результате повысился прирост живой массы как в первые 7 дней после отъема, так и в последующие 3 недели [42].

На цыплятах-бройлерах, получавших корм, приготовленный на основе кукурузы с добавкой фитазы, изучали влияние амилазы, ксиланазы и протеазы [43]. В проведенном эксперименте наибольшее влияние оказали карбогидразы на переваримость крахмала, что можно связать с присутствием в их составе амилазы, тогда как дополнительное включение протеазы на этот показатель не повлияло (табл. 4).

Живая масса цыплят несколько возросла под влиянием карбогидраз, но еще больше при дополнительном включении на этом фоне протеазы. Положительное действие на рост цыплят наблюдали при использовании полиферментного препарата, включавшего ксиланазу, амилазу, протеазу и фитазу [14]. Цыплятам негативного контроля скармливали комбикорм с пониженным уровнем ОЭ и доступного фосфора, наблюдая при этом существенное снижение переваримости протеина, фосфора, энергии и роста цыплят (табл. 5).

Включение в состав корма 3-й группы карбогидраз и протеазы не изменило переваримости протеина и фосфора, но повысило живую массу и эффективность использования корма по сравнению с результатами 2-й группы. Дополнительное включение фитазы в корм 4-й группы повысило переваримость фосфора, но не повлияло на протеин и даже снизило переваримость энергии, хотя при этом не изменился рост по сравнению с цыплятами 3-й группы. Совместное использование карбогидраз, протеазы и фитазы в рационе 5-й группы существенно повысило ОЭ корма, рост цыплят и снизило расход корма на прирост по сравнению с цыплятами 2, 3 и 4-й групп. Удвоение доз карбогидраз и протеазы привело к максимальному использованию энергии корма, превысившему даже показатели группы положительного контроля, однако переваримость фосфора оставалась такой же низкой, как и в 3-й

группе, что, возможно, и ограничило рост цыплят и эффективность использования корма по сравнению с 1-й группой. В большинстве случаев фитаза повышает продуктивность бройлеров, однако отсутствие ее эффекта в описанном исследовании не нашло объяснения [14].

Скармливание цыплятам-бройлерам комбикорма со сниженной питательностью до 21-дневного возраста обеспечило наилучшую продуктивность в присутствии карбогидразы, тогда как ее действие совместно с фитазой было слабее. Однако за период с 22-го по 42-й день опыта и в расчете за весь период с 1-го по 42-й день рост цыплят под влиянием испытанных вариантов добавок оказался практически одинаковым [44]. По нашему

Таблица 4. Влияние карбогидраз и протеазы на продуктивность и использование питательных веществ цыплятами-бройлерами

Table 4. Effects of carbohydrases and proteases on growth and nutrient use in broiler chicks (adapted from [43])

Показатели	Основной рацион	OP + ксиланаза +	OP + ксиланаза + амилаза +		
Hokadarom	(OP)	амилаза	протеаза		
Живая масса в 42 дня, г	3166,5b	3234,6ab	3323,5a		
Расход корма на 1 кг привеса, кг	1,64	1,62	1,60		
Переваримость в подвздошной кишке, %					
Протеин	83,3	84,1	84,1		
Крахмал	92,7c	97,3a	97,5a		
Жир	86,2c	88,8ab	89,9a		
Валовая энергия	70,5c	72,2a-c	72,1a-c		
ОЭ в подвздошной кишке, ккал/кг	3192,0c	3268,0a-c	3266,0a-c		
Ретенция азота, %	68,9b	70,6ab	69,1b		
a-c — средние величины с одинаковыми буквами достоверно не различаются (P < 0,05)					

Таблица 5. Влияние карбогидраз, протеазы и фитазы на переваримость питательных веществ и рост цыплят-бройлеров

Table 5. Effect of carbohydrases, protease and phytase on nutrient digestibility and growth of broiler chickens (from [14])

Nº	Добавлено в корм	Илеальная переваримость			Возраст 28 дней	
		Энергия, ккал/кг	Протеин, %	Фосфор, %	Живая масса, г	Корма на 1 кг проста, кг
1	Положительный контроль	2875	79,6	64,6	1078	1,447
2	Негативный контроль (НК)	2712	77,2	60,2	878	1,742
3	HK + 100 μγ/κγ ΚΑΠ *	2731	77,6	60,6	939	1,596
4	НК + 100 мг/кг фитаза**	2649	77,1	64,1	932	1,614
5	НК + 100 мг/кг КАП + фитаза	2716	78,1	62,7	1000	1,561
6	HK + 200 мг/кг $KA\Pi$	2925	80,0	60,6	966	1,588
7	НК +200 мг/кг фитаза	2691	78,1	63,5	948	1,591

 * КАП — 1 г КАП содержал: 1500 ед. ксиланазы, 2000 ед. амилазы, 20 000 ед. протеазы

Положительный контроль: ОЭ — 3050 ккал/кг; сырой протеин -21,5%; не фитатный фосфор — 0,40%

НК: ОЭ — 2870 ккал/кг; сырой протеин -21,5%; нефитатный фосфор — 0,24%

мнению на фоне кукурузно-соевого рациона с пониженной питательностью достаточно включать в рацион один из испытанных ферментных препаратов, поскольку их совместное использование не показало преимуществ.

В большинстве случаев действие ферментов более выражено при испытании их действия на животных раннего возраста. Однако при удачно обоснованном составе и дозировке ферментных препаратов они положительно влияют на продуктивность и взрослых особей. Так, при скармливании курам-несушкам кукурузно-соевого комбикорма со сниженным содержанием протеина, энергии наблюдали снижение яйценоскости. Включение в корм с пониженной питательностью поли-

^{**}Фитаза — 1 г содержал: 5000 ед. фитазы

ферментного коммерческого препарата, который содержал несколько карбогидраз, протеазу и фосфатазу, привело даже к некоторому увеличению продуктивности по сравнению с группой, получавшей сбалансированный по питательности комбикорм. Однако если в рационе дополнительно был понижен уровень фосфора, то яйценоскость в присутствии ферментного препарата сравнялось с таковой в группе положительного контроля [7].

Как было указано выше, не всегда испытания сочетаний ферментов завершаются положительными результатами. Это вполне естественно для поисковых работ и отражает сложность выбора необходимых ферментов, их доз и, что не менее важно, обоснование выбора надлежащего состава рационов в качестве фона для испытаний, поскольку должны быть охарактеризованы содержащихся в них субстраты и соответственно выбраны к ним ферменты. Специалисты считают, что при отсутствии результатов, подтверждающих необходимость каждого компонента в составе полиферментного комплекса, нет доказательств, подтверждающих их необходимость в составе препарата [18]. При сравнении действия двух коммерческих полиферментных препаратов, один из которых содержал 2200 ед./г ксиланазы, 200 ед./г β-глюканазы, 100 ед./г целлюлазы, 100 ед./г пектиназы, а другой 1800 ед./г ксиланазы, 2600 ед./г β-глюканазы, 500 ед./г целлюлазы, на фоне кукурузно-соевых рационов, соответствующих рекомендациям по питательности при выращивании цыплят Росс 308, выявили повышение роста цыплят во все периоды выращивания [45]. Увеличение в составе второго препарата концентрации глюканазы в 13 раз и целлюлазы в 5 раз не создало ему существенного преимущества по действию на рост и расход корма и даже несколько снизило эти показатели. В данном эксперименте интерес вызывает то, что выраженное позитивное действие добавок ферментов наблюдали на фоне рационов, отвечающих рекомендациям поставщика кросса. В присутствии карбогидраз снижалась выработка холецистокинина, который влияет на аппетит: она возрастала при добавлении протеазы в состав полиферментного комплекса. Экзогенные карбогидразы повышали активность трипсина в поджелудочной железе, но их стимулирующее действие ослабевало в присутствии экзогенной протеазы [37]. Нарушение рекомендаций по включению в корм

ферментов и их передозировка угнетают секрецию эндогенных ферментов и могут отрицательно сказаться на здоровье [46]. Механизмы влияния экзогенных ферментов на реализацию генетической информации только начали изучать, не установлены количественные взаимоотношения между дозой ферментов и активностью соответствующих матричных РНК. В связи с этим действие полиферментных препаратов зависит не только от их дозы, но и от других специфических свойств ферментов. Количественный учет всех влияющих факторов невозможен, поэтому к применению ферментов и составу полиферментных препаратов подходят с позиций общих знаний их свойств, реализация которых изменчива, что подтверждается противоречивыми результатами, получаемыми при испытаниях ферментов.

Заключение

Применение ферментных препаратов, обладающих одной целевой активностью, не всегда было успешным: неудачи обосновывали предположениями, связанными с качеством ферментных препаратов. В дальнейшем были созданы высокоактивные ферменты с заданными свойствами и снижена их стоимость, что часто позволяло достигать высокой экономической эффективности, однако получение стабильных результатов так и не достигло желаемого уровня. Процессы, лежащие в основе пищеварения, включают последовательное действие разных ферментов в условиях меняющейся среды ЖКТ, что в известной мере явилось поводом для разработки полиферментных ферментных препаратов. При этом в стороне остается проявление косвенных эффектов, прямо не связанных с гидролитическим действием ферментов, но иногда оказывающих необъяснимое положительное влияние на организм. В настоящее время главной проблемой для прогнозирования успешного использования ферментов остается слабая изученность состава субстратов и отсутствие информации о влиянии их структурной организации на доступность действию ферментов. Это создает трудности для прогнозирования экономической эффективности применения как моно-, так и полиферментных препаратов. На основании многочисленных публикаций наиболее успешными в практических условиях можно считать сочетания ксиланазы и фитазы, которые в некоторых случаях усиливаются добавлением протеазы и (или) амилазы.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Крюков В.С, Глебова И.В., Антипов А.А. Оценка действия фитаз в пищеварительном тракте и использование препаратов фитазы в питании животных (обзор). Проблемы биологии продуктивных животных. 2019, 2: 19–43.
- 2. Cowieson A. J. Strategic Selection of Exogenous Enzymes for Corn/soy-based Poultry Diets. Poultry Science. 2010, 47: 1–7.
- Vieira S.L., Stefanello C., Sorbara J.O.B. Formulating poultry diets based on their indigestible components. Poultry Science. 2014, 93: 2411–2416
- 4. Raza A., Bashir S., Tabassum R. An update on carbohydrases: growth performance and intestinal health of poultry. Heliyon, 2019 5e 01437. doi: 10.1016/j.heliyon.2019. e0143
- 5. Choct M. Enzmes for the feed industry: past, present and future. World's Poultry Science Journal. 2006, 62: 5–16.
- 6. Cowieson A.J., Ravindran V. Effect of exogenous enzymes in maize-based diets varying in nutrient density for young broilers: growth performance and digestibility of energy, minerals and aminoacids. British Poultry Science. 2008, 49: 37–44.
- 7. Lee K. W., Choi Y. I., Moon E. J., Oh S. T., Lee H. H., Kang C. W., An B. K. Evaluation of Dietary Multiple Enzyme Preparation (Natuzyme) in Laying Hens. Asian-Australasian Journal of Animal

- Sciences. 2014. 27(12): 1749-1754.
- 8. Cowieson A.J., Bedford M.R. The effect of phytase and carbohydrase on ileal amino acid digestibility in monogastric diets: complimentary mode of action? World's Poultry Science Journal. 2009, 65: 609–624.
- 9. Gao F., JiangY., Zhou G.H., Han Z.K. The effects of xylanase supplementation on performance, characteristics of the gastrointestinal tract, blood parameters and gut microflora in broilers fed on wheat-based diets. Animal Feed Science and Technology. 2008, 142: 173–184.
- 10. Yuan J, Wang X, Yin D, Wang M, Yin X, Lei Z, Guo Y. Effect of different amylases on the utilization of corn starch in broiler chickens. Poultry Science. 2017, 96:1139–1148.
- 11. Bedford MR. Exogenous enzymes in monogastric nutrition their current value and future benefits. Animal Feed Science and Technology, 2000, 86: 1–13.
- 12. Tejedor A.A., Albino L.F.T., Rostagno H.S., Lima C.A.R., Vieites F.M. Effect of Enzymes Supplementation in Corn Soybean Meal Broiler Diets on Ileal Digestibility of Nutrients. Revista Brasileira de Zootecnia. 2001, 30:809–816.
- 13. Gomes J. E. G., da Silva Nascimento T. C. E., de Fran a Queiroz A. E. S., de Siqueira Silva J. I. j nior, de Souza Motta C. M.,

- de Medeiros E. V. and Moreira K. A. Production, characterization and evaluation of in vitro digestion of phytases, xylanases and cellulases for feed industry. African Journal of Microbiology Research. 2014, 8: 551–558.
- 14. Cowieson A. J., Adeola O. Carbohydrases, Protease, and Phytase Have an Additive Beneficial Effect in Nutritionally Marginal Diets for Broiler Chicks. Poultry Science. 2005, 84:1860–1867.
- 15. Meng X., Slominski B., Nyachoti A., Campbell C.M., Guenter L.D. Degradation of cell wall polysaccharides by combinations of carbohydrase enzymes and their effect on nutrient utilization and broiler chicken performance. Poultry Science. 2005, 84:37–47.
- 16. De La Mare, M., Guais, O., Bonnin, E., Weber, J., Francois, J.M., Molecular and biochemical characterization of three GH62 a-l-arabinofuranosidases from the soil deuteromycete Penicillium funiculosum. Enzyme and Microbial Technology. 2013, 53 (5): 351–358.
- 17. Cozannet, P., Neto, R.M., Geraert, P.-A., Kidd M. Feedase: the new generation of feed enzymes to optimise complete nutrient availability in diets: feed science. AFMA Matrix. 2017, 26: 24–25.
- 18. Masey O'Neill H. V., Smith J. A. and Bedford M. R. Multicarbohydrase Enzymes for Non-ruminants. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2014, 27: 290–301.
- 19. Theander, O., Westerlund E., Aman P., Graham H. Plant cell walls and monogastric diets. Animal Feed Science and Technology. 1989, 23: 205–225.
- 20. Slominski B. A. Recent advances in research on enzymes for poultry diets Poultry Science. 2011, 90: 2013–2023.
- 21. Willamil J., Badiola I., Devillard E., Geraert P. A., Torrallardona D. Wheat-barley-rye- or corn-fed growing pigs respond differently to dietary supplementation with a carbohydrase complex. Journal of Animal Science. 2012, 90: 824–832.
- 22. Mathlouthi N., Juin H., Larbier M. Effect of xylanase and β -glucanase supplementation of wheat- or wheat- and barley-based diets on the performance of male turkeys. British Poultry Science. 2003, 44: 291–298.
- 23. Aman P, Graham H. Chemical Evaluation of Polysaccharides in Animal Feeds. In: Feedstuff Evaluation, Eds: Wiseman, J. and Cole D.J.A. Chapter 9, London, UK; 1990. p.161–177.
- 24. Parker K. N., Chhabra S. R., Lam D. Galactomannanases Man2 and Man5 from Thermotoga species: growth physiology on galactomannans, gene sequence analysis, and biochemical properties of recombinant enzymes. Biotechnology and Bioengineering. 2001, 75: 322–333.
- 25. Rehman Z. U., Aziz T., Bhatti S. A., Ahmad G., Kamran J., Umar S., Meng and Ding C. Effect of β -mannanase on the Performance and Digestibility of Broilers. Asian Journal of Animal and Veterinary Advances. 2016, 11: 393–398.
- 26. Jang J.-C., Kim K. H., Jang Y. D., Kim Y. Y. Effects of dietary β -mannanase supplementation on growth performance, apparent total tract digestibility, intestinal integrity, and immune responses in weaning pigs. Animals. 2020, 10: 703–709.
- 27. Pettey L.A., Carter S.D., Senne, B.W., Shriver, J.A. Effects of β -mannanase addition to corn-soybean meal diets on growth performance, carcass traits, and nutrient digestibility of weanling and growing-finishing pigs. Journal of Animal Science. 2002, 80: 1012–1019.
- 28. Carr S.N., Alee G.L., Rincker P.J., Fry R.S., Boler D.D. Effects of endo-1,4- β -d-mannanase enzyme (Hemicell HT 1.5) on the growth performance of nursery pigs. The Professional Animal Scientis. 2014, 30: 393–399.
- 29. Latham R., Williams M, Smit K, Stringfellow K., Brister R., Clemente S., Lee J. Effect of β -mannanase on growth performance, ileal digestible energy, and intestinal viscosity of male broilers fed a reduced energy diet. The Journal of Applied Poultry Research. 2016, 25: 40–47.
- 30. Huntley N.F., Nyachoti C.M., Patience J.F. Lipopolysaccharide immune stimulation but not β -mannanase supplementation affects maintenance energy requirements in young weaned pigs. Journal of Animal Science and Biotechnology. 2018. 9: 47–63.
- 31. Torres-Pitarch A., Manzanilla E.G., Gardiner G.E., O'Doherty J.V., Lawlor P.G. Systematic review and meta-analysis

- of the effect of feed enzymes on growth and nutrient digestibility in grow-finisher pigs: Effect of enzyme type and cereal source. Animal Feed Science and Technology. 2019, 251: 153–165.
- 32. Noy Y., Sklan D. Digestion and absorption in the young chick. Poultry Science. 1995, 74:366–373.
- 33. Ma J, Yang T, Yang M, Yan Z, Zhao L, Yao L, Chen J, Chen Q, Tan B, Li T, Yin J, Yin Y. Effects of dietary amylose/amylopectin ratio and amylase on growth performance, energy and starch digestibility, and digestive enzymes in broilers. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition (Berl). 2020, 104: 928–935.
- 34. Gao X., Yu B., Yu J., Mao X., Huang Z., Luo Y., Luo J., Zheng P., He J., Chen D. Effects of Dietary Starch Structure on Growth Performance, Serum Glucose–Insulin Response, and Intestinal Health in Weaned Piglets. Animals. 2020, 10 (3): 543. https://doi.org/10.3390/ani1003054.
- 35. Stefanello C., Vieira S. L., Santiago G. O., Kindlein L., Sorbara J. O. B., Cowieson A. J. Starch digestibility, energy utilization, and growth performance of broilers fed corn-soybean basal diets supplemented with enzymes. Poultry Science. 2015, 94:2472–2479.
- 36. Shimada M., Mochizuki K., Goda T. Feeding rats dietary resistant starch shifts the peak of SGLT1 gene expression and histone H3 acetylation on the gene from the upper jejunum toward the ileum. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2009, 57: 8049–8055.
- 37. Gracia M.I., Aranibar M.J., Lázaro R., Medel P., Mateos G.G. Alfa-amylase Supplementation of Broiler Diets Based on Corn. Poultry Science. 2003, 82: 436–442.
- 38. Jiang Z., Zhou Y., Lu F., Han Z, Wang T. Effects of different levels of supplementary alpha-amylase on digestive enzyme activities and pancreatic amylase mRNA expression of young broilers. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2008, 21: 97–102
- 39. Kaczmarek S.A., Rogiewicz A., Mogielnicka M., Rutkowski A., Jones R.O., Slominski B.A. The effect of protease, amylase, and nonstarch polysaccharide-degrading enzyme supplementation on nutrient utilization and growth performance of broiler chickens fed corn-soybean meal-based diets. Poultry Science. 2014, 93: 1745–1753
- 40. Mahagna M., Nir I., Larbier M., Nitsan Z. Effect of age and exogenous amylase and protease on development of the digestive tract, pancreatic enzyme activities and digestibility of nutrients in young meat-type chicks. Reproduction Nutrition Development. 1995. 35: 201–212.
- 41. Yegani M., Korver D.R. Effects of corn source and exogenous enzymes on growth performance and nutrient digestibility in broiler chickens. Poultry Science. 2013, 92:1208–1220.
- 42. Yi J. Q., Piao X. S., Li Z. C., Zhang H. Y., Chen Y., Li Q. Y., Liu J. D., Zhang Q., Ru Y. J., and Dong B. The Effects of Enzyme Complex on Performance, Intestinal Health and Nutrient Digestibility of Weaned Pigs. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2013, 26:1181–1188.
- 43. Wealleans A. L., Walsh M. C., Romero L. F., V. Ravindran. Comparative effects of two multi-enzyme combinations and a Bacillus probiotic on growth performance, digestibility of energy and nutrients, disappearance of non-starch polysaccharides, and gut microflora in broiler chickens. Poultry Science. 2017, 96:4287–4297.
- 44. Mohiti-Asli M., Ghanaatparast-Rashti M., Akbarian P. and Mousavi S. N. Effects of a combination of phytase and multi-carbohydrase enzymes in low-density corn-soybean meal based diets on growth performance and ileal nutrients digestibility of male broilers. Italian Journal of Animal Science. 2020, 19: 1533–1541.
- 45. Goli S., Shahryar H. A. Effect of Enzymes Supplementation (Rovabio and Kemin) on some Blood Biochemical Parameters, Performance and Carcass Characterizes in Broiler Chickens. Iranian Journal of Applied Animal Science. 2015, 5 (issue 1, №;1): 127–131.
- 46. Cowieson A.J., Acamovic T., Bedford M.R. Using the precision-feeding bioassay to determine the efficacy of exogenous enzymes A new perspective. Animal Feed Science and Technology. 2006, 129(1-2):149–158.

2014, 93: 2411-2416

- 4. Raza A., Bashir S., Tabassum R. An update on carbohydrases: growth performance and intestinal health of poultry. Heliyon, 2019 5e 01437. doi: 10.1016/j.heliyon.2019. e0143
- 5. Choct M. Enzmes for the feed industry: past, present and future. World's Poultry Science Journal. 2006, 62: 5–16.
- 6. Cowieson A.J., Ravindran V. Effect of exogenous enzymes in maize-based diets varying in nutrient density for young broilers: growth performance and digestibility of energy, minerals and aminoacids. British Poultry Science. 2008, 49: 37–44.

REFERENCES

- 1. Kryukov, V. S, Glebova, I. V., and Antipov, A. A., Evaluation of the phytase activity in the gastrointestinal tract and the use of phytase preparations in the animal diet (review), Problemy Biol. Produkt. Zhivotnykh, 2019; 2: 19–43. (in Russ.).
- 2. Cowieson A. J. Strategic Selection of Exogenous Enzymes for Corn/soy-based Poultry Diets. Poultry Science. 2010, 47: 1–7.
- 3. Vieira S.L., Stefanello C., Sorbara J.O.B. Formulating poultry diets based on their indigestible components. Poultry Science.

- 7. Lee K. W., Choi Y. I., Moon E. J., Oh S. T., Lee H. H., Kang C. W., An B. K. Evaluation of Dietary Multiple Enzyme Preparation (Natuzyme) in Laying Hens. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2014. 27(12): 1749–1754.
- 8. Cowieson A.J., Bedford M.R. The effect of phytase and carbohydrase on ileal amino acid digestibility in monogastric diets: complimentary mode of action? World's Poultry Science Journal. 2009, 65: 609–624.
- 9. Gao F., JiangY., Zhou G.H., Han Z.K. The effects of xylanase supplementation on performance, characteristics of the gastrointestinal tract, blood parameters and gut microflora in broilers fed on wheat-based diets. Animal Feed Science and Technology. 2008. 142: 173–184.
- 10. Yuan J, Wang X, Yin D, Wang M, Yin X, Lei Z, Guo Y. Effect of different amylases on the utilization of corn starch in broiler chickens. Poultry Science. 2017, 96:1139–1148.
- 11. Bedford MR. Exogenous enzymes in monogastric nutrition—their current value and future benefits. Animal Feed Science and Technology, 2000, 86: 1–13.
- 12. Tejedor A.A., Albino L.F.T., Rostagno H.S., Lima C.A.R., Vieites F.M. Effect of Enzymes Supplementation in Corn Soybean Meal Broiler Diets on Ileal Digestibility of Nutrients. Revista Brasileira de Zootecnia. 2001, 30:809–816.
- 13. Gomes J. E. G., da Silva Nascimento T. C. E., de França Queiroz A. E. S., de Siqueira Silva J. I. júnior, de Souza Motta C. M., de Medeiros E. V. and Moreira K. A. Production, characterization and evaluation of in vitro digestion of phytases, xylanases and cellulases for feed industry. African Journal of Microbiology Research. 2014, 8: 551–558.
- 14. Cowieson A. J., Adeola O. Carbohydrases, Protease, and Phytase Have an Additive Beneficial Effect in Nutritionally Marginal Diets for Broiler Chicks. Poultry Science. 2005, 84:1860–1867.
- 15. Meng X., Slominski B., Nyachoti A., Campbell C.M., Guenter L.D. Degradation of cell wall polysaccharides by combinations of carbohydrase enzymes and their effect on nutrient utilization and broiler chicken performance. Poultry Science. 2005, 84:37–47.
- 16. De La Mare, M., Guais, O., Bonnin, E., Weber, J., Francois, J.M., Molecular and biochemical characterization of three GH62 a-l-arabinofuranosidases from the soil deuteromycete Penicillium funiculosum. Enzyme and Microbial Technology. 2013, 53 (5): 351–358.
- 17. Cozannet, P., Neto, R.M., Geraert, P.-A., Kidd M. Feedase: the new generation of feed enzymes to optimise complete nutrient availability in diets: feed science. AFMA Matrix. 2017, 26: 24–25.
- 18. Masey O'Neill H. V., Smith J. A. and Bedford M. R. Multicarbohydrase Enzymes for Non-ruminants. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2014, 27: 290–301.
- Theander, O., Westerlund E., Aman P., Graham H. Plant cell walls and monogastric diets. Animal Feed Science and Technology. 1989, 23: 205–225.
- 20. Slominski B. A. Recent advances in research on enzymes for poultry diets Poultry Science. 2011, 90: 2013–2023.
- 21. Willamil J., Badiola I., Devillard E., Geraert P. A., Torrallardona D. Wheat-barley-rye- or corn-fed growing pigs respond differently to dietary supplementation with a carbohydrase complex. Journal of Animal Science. 2012, 90: 824–832.
- 22. Mathlouthi N., Juin H., Larbier M. Effect of xylanase and β -glucanase supplementation of wheat- or wheat- and barley-based diets on the performance of male turkeys. British Poultry Science, 2003, 44: 291–298.
- 23. Aman P, Graham H. Chemical Evaluation of Polysaccharides in Animal Feeds. In: Feedstuff Evaluation, Eds: Wiseman, J. and Cole D.J.A. Chapter 9, London, UK; 1990. p.161–177.
- 24. Parker K. N., Chhabra S. R., Lam D. Galactomannanases Man2 and Man5 from Thermotoga species: growth physiology on galactomannans, gene sequence analysis, and biochemical properties of recombinant enzymes. Biotechnology and Bioengineering. 2001, 75: 322–333.
- 25. Rehman Z. U., Aziz T., Bhatti S. A., Ahmad G., Kamran J., Umar S., Meng and Ding C. Effect of β -mannanase on the Performance and Digestibility of Broilers. Asian Journal of Animal and Veterinary Advances. 2016, 11: 393–398.
- 26. Jang J.-C., Kim K. H., Jang Y. D., Kim Y. Y. Effects of dietary β -mannanase supplementation on growth performance, apparent total tract digestibility, intestinal integrity, and immune responses in weaning pigs. Animals. 2020, 10: 703–709.
- 27. Pettey L.A., Carter S.D., Senne, B.W., Shriver, J.A. Effects of β -mannanase addition to corn-soybean meal diets on growth performance, carcass traits, and nutrient digestibility of weanling and growing-finishing pigs. Journal of Animal Science. 2002, 80: 1012–1019.
- 28. Carr S.N., Alee G.L., Rincker P.J., Fry R.S., Boler D.D. Effects of endo-1,4- β -d-mannanase enzyme (Hemicell HT 1.5) on the growth performance of nursery pigs. The Professional Animal Scientis. 2014, 30: 393–399.

- 29. Latham R., Williams M, Smit K, Stringfellow K., Brister R., Clemente S., Lee J. Effect of β -mannanase on growth performance, ileal digestible energy, and intestinal viscosity of male broilers fed a reduced energy diet. The Journal of Applied Poultry Research. 2016, 25: 40–47.
- 30. Huntley N.F., Nyachoti C.M., Patience J.F. Lipopolysaccharide immune stimulation but not β -mannanase supplementation affects maintenance energy requirements in young weaned pigs. Journal of Animal Science and Biotechnology. 2018. 9: 47–63.
- 31. Torres-Pitarch A., Manzanilla E.G., Gardiner G.E., O'Doherty J.V., Lawlor P.G. Systematic review and meta-analysis of the effect of feed enzymes on growth and nutrient digestibility in grow-finisher pigs: Effect of enzyme type and cereal source. Animal Feed Science and Technology. 2019, 251: 153–165.
- 32. Noy Y., Sklan D. Digestion and absorption in the young chick. Poultry Science. 1995. 74:366–373.
- 33. Ma J, Yang T, Yang M, Yan Z, Zhao L, Yao L, Chen J, Chen Q, Tan B, Li T, Yin J, Yin Y. Effects of dietary amylose/amylopectin ratio and amylase on growth performance, energy and starch digestibility, and digestive enzymes in broilers. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition (Berl). 2020, 104: 928–935.
- 34. Gao X., Yu B., Yu J., Mao X., Huang Z., Luo Y., Luo J., Zheng P., He J., Chen D. Effects of Dietary Starch Structure on Growth Performance, Serum Glucose–Insulin Response, and Intestinal Health in Weaned Piglets. Animals. 2020, 10 (3): 543. https://doi.org/10.3390/ani1003054.
- 35. Stefanello C., Vieira S. L., Santiago G. O., Kindlein L., Sorbara J. O. B., Cowieson A. J. Starch digestibility, energy utilization, and growth performance of broilers fed corn-soybean basal diets supplemented with enzymes. Poultry Science. 2015, 94:2472–2479.
- 36. Shimada M., Mochizuki K., Goda T. Feeding rats dietary resistant starch shifts the peak of SGLT1 gene expression and histone H3 acetylation on the gene from the upper jejunum toward the ileum. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2009, 57: 8049–8055.
- 37. Gracia M.I., Aranibar M.J., Lázaro R., Medel P., Mateos G.G. Alfa-amylase Supplementation of Broiler Diets Based on Corn. Poultry Science. 2003, 82: 436–442.
- 38. Jiang Z., Zhou Y., Lu F., Han Z, Wang T. Effects of different levels of supplementary alpha-amylase on digestive enzyme activities and pancreatic amylase mRNA expression of young broilers. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2008, 21: 97–102
- 39. Kaczmarek S.A., Rogiewicz A., Mogielnicka M., Rutkowski A., Jones R.O., Slominski B.A. The effect of protease, amylase, and nonstarch polysaccharide-degrading enzyme supplementation on nutrient utilization and growth performance of broiler chickens fed corn-soybean meal-based diets. Poultry Science. 2014, 93: 1745–1752
- 40. Mahagna M., Nir I., Larbier M., Nitsan Z. Effect of age and exogenous amylase and protease on development of the digestive tract, pancreatic enzyme activities and digestibility of nutrients in young meat-type chicks. Reproduction Nutrition Development. 1995. 35: 201-212.
- 41. Yegani M., Korver D.R. Effects of corn source and exogenous enzymes on growth performance and nutrient digestibility in broiler chickens. Poultry Science. 2013, 92:1208–1220.
- 42. Yi J. Q., Piao X. S., Li Z. C., Zhang H. Y., Chen Y., Li Q. Y., Liu J. D., Zhang Q., Ru Y. J., and Dong B. The Effects of Enzyme Complex on Performance, Intestinal Health and Nutrient Digestibility of Weaned Pigs. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2013, 26:1181–1188.
- 43. Wealleans A. L., Walsh M. C., Romero L. F., V. Ravindran. Comparative effects of two multi-enzyme combinations and a Bacillus probiotic on growth performance, digestibility of energy and nutrients, disappearance of non-starch polysaccharides, and gut microflora in broiler chickens. Poultry Science. 2017, 96:4287–4297.
- 44. Mohiti-Asli M., Ghanaatparast-Rashti M., Akbarian P. and Mousavi S. N. Effects of a combination of phytase and multicarbohydrase enzymes in low-density corn-soybean meal based diets on growth performance and ileal nutrients digestibility of male broilers. Italian Journal of Animal Science. 2020, 19: 1533–1541.
- 45. Goli S., Shahryar H. A. Effect of Enzymes Supplementation (Rovabio and Kemin) on some Blood Biochemical Parameters, Performance and Carcass Characterizes in Broiler Chickens. Iranian Journal of Applied Animal Science. 2015, 5 (issue 1, №;1): 127–131.
- 46. Cowieson A.J., Acamovic T., Bedford M.R. Using the precision-feeding bioassay to determine the efficacy of exogenous enzymes A new perspective. Animal Feed Science and Technology. 2006, 129(1-2):149–158.