

Разновидности ферментных кормовых добавок и особенности их применения

Ферментные кормовые добавки нашли широкое применение в мировой практике кормления животных. Их использование позволяет повысить эффективность процесса пищеварения и снизить затраты на выращивание, что особенно важно для производителей продукции животноводства, т.к. корма занимают самую большую долю расходов в структуре себестоимости мяса, молока и яиц. Но для того, чтобы ферменты работали эффективно, а их применение было экономически выгодно, необходимо рационально подходить к вопросу их выбора и использования. Об этом и пойдёт речь в данной статье.

История и современность индустрии кормовых ферментов

Ферменты, или энзимы, – это специфические белки, способные во много раз ускорять химические реакции, протекающие в живых организмах, не входя при этом в состав конечных продуктов реакции, то есть являющиеся биологическими катализаторами. (Большая Медицинская Энциклопедия, 1985). Первый эксперимент с кормовыми ферментами был описан в 1925 году (Rosen G.D., 2002). С тех пор научная литература пополнилась многими сотнями работ по этому вопросу, и наука значительно продвинулась вперед в этой области, что позволило начать производство кормовых ферментов в промышленных масштабах уже в начале 80-х годов прошлого столетия. К этому времени стало ясно, что необходимо производить больше высококачественного белка быстрее, чтобы удовлетворить потребности растущего населения. Было также очевидно, что превращение корма в белок - не достаточно эффективный процесс. Не смотря на то, что пищеварительная система птиц является одной из самых эффективных в животном мире, она не в силах переварить более четверти того, что едят, даже если диета довольно проста. Для свиней эта цифра – около 70%. Молодым птицам и свиньям особенно не хватает соответствующих ферментов для переваривания более волокнистых рационов.

Табл. 1. Основные виды ферментов, которые используют в кормлении (Лагутин В., 2014)

Фермент	Действие	Результаты действия
Амилаза	Расщепляет зерновой крахмал до декстринов и сахаров	Ввод в престартерные и стартерные комбикорма для поросят и телят позволяет увеличить норму ввода зерна в комбикорма
β-глюканаза	Расщепляет бета-глюканы до низкомолекулярных углеводов и глюкозы	При вводе в комбикорма для птицы и свиней повышается усвояемость обменной энергии и аминокислот корма. Улучшаются продуктивность и конверсия корма
Ксиланаза	Расщепляет арабиноксиланы до низкомолекулярных углеводов и глюкозы	При вводе в комбикорма для птицы и свиней повышается усвояемость обменной энергии и аминокислот корма. Улучшается продуктивность, конверсия корма и качество подстилки
Протеаза	Расщепляет протеины до пептидов и аминокислот	При использовании в составе заменителей цельного молока с соевым протеином улучшается переваримость протеина, снижается выделение азота
Фитаза	Улучшает доступность фосфора, кальция, аминокислот, а также микроэлементов из солей фитиновой кислоты (фитата)	При вводе в комбикорма для птицы и свиней уменьшается потребность как в неорганических, так и в органических источниках фосфора
Целлюлаза	Расщепляет целлюлозу до низкомолекулярных углеводов и глюкозы	При вводе в комбикорма для птиц и свиней с низкой питательностью и высоким содержанием клетчатки повышается усвояемость обменной энергии и аминокислот корма. Улучшаются продуктивность и конверсия корма

Сорокалетняя история коммерческого применения ферментов в качестве кормовой добавки происходила постепенно в несколько этапов. Изначально, в 80-е годы XX века, целью использования ферментов в кормлении животных было повышение

усвояемости питательных веществ, в первую очередь, за счёт устранения антипитательных эффектов некрахмальных полисахаридов (НПС), таких как арабиноксиланы и β-глюканы в рационах бройлеров, с высоким содержанием источников клейко-

Табл. 2. Ферментная продуктивность грибов и бактерий

Фермент	Штаммы-продуценты	Активность, ед/г	Источник
α-амилаза	Грибы <i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. oryzae</i>	1920-6583	Sivaramakrishnan S. et al., 2006
	Бактерии <i>Bacillus sp.</i> , <i>B. coagulans</i> , <i>B. subtilis</i>	5953-464000	
β-глюканаза	Грибы <i>Trichoderma atroviridae</i> , <i>Aspergillus awamori</i>	5,3-104,7*	Srivastava N. et al., 2019
	Бактерии <i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>B. halodurans</i>	22,6-95,0*	
Протеаза	Грибы <i>Aspergillus oryzae</i>	1500	Devarapalli K. et al., 2011
	Бактерии <i>Bacillus sp.</i>	12-429	
Фитаза	Грибы <i>Aspergillus ficcum</i> , <i>A. niger</i>	15,0; 25,8	Neira-Vielma A.A. et al., 2018
	Бактерии <i>Bacillus spp.</i>	0,19*	Sasirekha B. et al., 2012
Ксиланаза	Грибы <i>Aspergillus niger</i> <i>Aspergillus heteromorphus</i> <i>Trichoderma reesei</i>	32-35* 8,1* 33,6-57,2	Nair S.G. et al., 2008 Bajar S. et al., 2020 Yardimci G.O. & Cekmecelioglu D., 2018
	Бактерии <i>Bacillus subtilis</i>	36,8-49,5*	Yardimci G.O. & Cekmecelioglu D., 2018
Целлюлаза (карбок-симетил-целлюлоза)	Грибы <i>Aspergillus niger</i> <i>Trichoderma viride</i>	64-129 331	Srivastava N. et al., 2018
	<i>Bacillus sp.</i> , <i>B. licheniformis</i>	0,12*; 0,33*	Kazeem M.O. et al., 2017

* активность указана в ед/мл



вины, к которым относятся пшеница, рожь, ячмень или тритикале. В результате был создан массив относительно последовательных, успешных исследований, которые привели к созданию молодой отрасли, основанной на использовании клетчатки в рационах на основе ячменя в Финляндии в 1984 году (Bedford M.R., 2002). Позже, в начале 1990-х годов сфера применения ферментов расширилась, и новой задачей их использования стало не только повышение переваримости за счёт расщепления НПС, но и повышение эффективности использования фитинового фосфора, снижение выделения элемента в окружающую среду в процессе утилизации и переработки помёта. Затем промышленность начала пропагандировать добавление ферментов в рационы на основе компонентов, богатых крахмалом и растительным протеином.

По данным ООО «Исследовательская компания «Аберкейд» в 2018 году доля ферментов в структуре мирового рынка кормовых добавок составила 6,9%, заняв промежуточное место между аминокислотами – 4,6% и витаминами – 7,9% (Орлова Н., 2020).

Сегодня мировой рынок ферментов довольно обширный. По данным Graham Feed Company, в 2017 г. с использованием ферментов ею было произведено более 95% комбикормов для птицеводства и более 90% - для свиноводства. Оценка мирового рынка ферментов, используемых в кормлении животных, показывает, что годовой оборот от продажи фитаз составляет приблизительно 450 млн евро, НПС-гидролизующих ферментов — 500 млн, а протеаз — 100 млн евро. Их применение позволяет комбикормовой промышленности экономить более 4 млрд евро в год (Гирс К., 2020).

Ферментная промышленность продолжает развиваться, совершенствуя способы получения энзимов и создавать новые комплексные продукты на их основе (Choct M., 2006; Джерри О.Э., 2011).

Разновидности ферментных кормовых добавок и их различия

В практике кормления животных в основном используют 6 видов фер-

ментов, названия которых происходят от названий субстратов, которые они расщепляют (табл. 1).

В дополнение к информации, указанной в табл. 1, следует добавить, что субстраты, на которые воздействуют ферменты β -глюканаза, ксиланаза и целлюлаза, являются теми самыми некрахмалистыми полисахаридами (НПС), которые упоминались в начале статьи.

Некоторые специалисты относят эту группу ферментов, вместе с протеазой и амилазой, к «не-фитазам», поскольку все они являются карбогидразами, в противовес фитазе, выделенной в отдельную категорию (Гирс К., 2020).

Наряду с солями фитиновых кислот, трудно гидролизуемым крахмалом и протеином, НПС являются антипитательными факторами корма (АФК), т.е. это вещества, которые напрямую или через продукты метаболизма препятствуют усвоению питательных веществ (Егоров И.А., 1992; Бобков С.В., 2012). Помимо перечисленных в табл. 1 видов ферментов на рынке кормовых добавок также встречаются продукты с липазой, β -маннаназой, пектиназой и др.

Ферментные кормовые добавки состоят из энзимов, продуцируемых бактериями (*E. coli*, *B. Subtilis* и др.), грибами (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Pichia* и др.) или дрожжами (*Saccharomyces cerevisiae* и др.) (Nayini N. R. & Markakis P., 1984). Каждый вид микроорганизмов представлен множеством штаммов, полученных путём селекции (мутационеза) или с помощью генной инженерии. Бактерии и грибы, штаммы которых используются в изготовлении кормовых ферментов, могут иметь существенные различия в показателях ферментной продуктивности (табл. 2).

Как следует из данных, представленных в табл. 2, грибы превосходят бактерии в продуцировании протеазы, целлюлазы и фитазы, уступают в образовании α -амилазы и практически не отличаются по количеству выделяемой β -глюканазы и ксиланазы, что согласуется с данными других сравнительных обзоров (Robledo-Mahon T. et al., 2020).

Бактерии и грибы продуцируют набор различных ферментов, но каждый штамм «заточен» на макси-



мальную выработку какого-то одного фермента. Компании-производители стремятся использовать самые продуктивные штаммы, которые легко «разводить», дешево «кормить» и «заставить выделять» именно те ферменты, которые должны быть в готовом продукте. Поэтому использование генно-модифицированных микроорганизмов-продуцентов в промышленном производстве ферментов получило широкое распространение. И вопреки расхожему мнению в качестве источников генов, отвечающих за выработку ферментов, используются и грибы, и бактерии (Лавренова В., 2017; Yamada K. et al., 1986).

В список ферментов, который утверждён Европейской отраслевой ассоциацией производителей и разработчиков энзимных продуктов (AMFEP) входят 243 коммерчески доступных фермента, полученных от различных микроорганизмов. Из них 114 (47%) продуцируются с использованием рекомбинантных штаммов-хозяев. Большинство коммерческих ферментов используются в пищевой (и кормовой) промышленности (225 или 93%). В настоящее время более

300 досье на пищевые (и кормовые) ферменты находятся на стадии оценки Европейским органом по безопасности пищевых продуктов (EFSA) в рамках нормативной базы ЕС FIAP (Food Improvement Agents Package), которая включает как существующие коммерческие ферменты, так и новые ферменты. Примерно 50% всех представленных досье включают ферменты, полученные из генетически модифицированных микроорганизмов (Arnaud J. et al., 2020).

Интересно, что большинство коммерческих классов ферментов, используемых в пищевых продуктах, производятся с использованием грибов (31 из 38 или 82%).

Дело в том, что грибные штаммы предпочтительнее по ряду причин:

- ферментные системы грибов всегда богаче, содержат целый комплекс энзимов, необходимых для гидролиза нативных субстратов;
- в отличие от бактериальных, грибные ферменты практически не имеют неприятного запаха;
- культивирование грибов происходит в кислой среде, что препятствует развитию посторонних патоген-

Табл. 3. Содержание НПС и фитиновых кислот в кормовом сырье, % в сух. в-ве¹

Виды сырья	Некрахмалистые полисахариды			Фитиновая кислота ³
	Арабино-ксианы	Целлюлоза	β-глюканы	
Подсолнечный шрот	6,5-11,0	16,0-23,0	2,5-5,0	3,9-4,3
Ячмень	5,5-7,0	3,9-9,0	4,3-10,0	0,4-1,2
Овёс	5,5-6,9	8,0-12,3	3,0-6,6	0,4-1,2
Пшеница	6,0-9,5	2,0-3,0	0,8-1,5	1,1-3,9
Пшеничные отруби	28,6 ²	8,0 ²	4,3 ²	2,1-7,3
Кукуруза	4,0-4,3	1,9-3,0	0,1-0,2	6,3
Рожь	7,6-9,0	2,1-2,5	0,5-2,5	1,0-1,3 ⁴
Соевый шрот	3,5-4,5	4,0-6,0	3,8 ²	2,8-4,1
Тритикале	5,4-6,9	2,3-3,0	0,2-2,0	1,4-5,3 ⁵

1. Бутейкис Г. и Блажинскас Д., 2015; 2. Рядчиков В.Г., 2012; 3. Schlemmer U. et al. 2009; 4. Исмагилов Р.Р. и Ахиярова Л.М., 2012; 5. Hidvegi M. & Lasztity R., 2003

Рис. 1. Особенности строения клеточной стенки семян растений**Рис. 2. Формы выпуска мультиферментной добавки «Натузим»**

ных бактерий (Егоров И., 2009).

Помимо деления на виды продуцируемых ферментов и классификации по происхождению (бактериальные или грибные), кормовые добавки на их основе можно распределить на три условные группы: моно-, поли- и мультиэнзимные препараты.

К **моноферментам** относятся кормовые добавки с одной активностью. Эта группа самая многочисленная, она представлена всеми видами ферментов, перечисленными в **табл. 1**.

Полиферменты – кормовые добавки на основе нескольких видов

или разновидностей энзимов схожего действия. Наиболее распространены комбинации карбогидраз, включающие в себя ферменты, направленные на расщепление НПС. Есть также продукты с двумя типами протеаз. Для производства полиферментов, обычно используют один и тот же штамм при разных условиях культивации, или штаммы одного вида, чтобы избежать эффекта антагонизма между ферментными активностями.

Третья группа – **мультиэнзимные препараты**. Эти кормовые добавки обладают широким спектром

ферментных активностей, за счёт чего и достигается максимальное высвобождение питательных веществ корма. На сегодняшний день мультиэнзимные препараты уверенно расширяют свое присутствие на рынке ферментов.

Особенности применения моно-, поли- и мультиферментов

Применение моноферментных кормовых добавок не позволяет в полной мере решить проблему с переваримостью и усвояемостью корма. Так, например, если использовать только фитазу, то не удастся решить проблему вязкого помёта и присутствия некрахмалистых полисахаридов. Если сравнить ингредиенты по процентному содержанию трудноперевариваемых веществ и антипитательных факторов, то станет очевидным, что применение монофермента сродни «стрельбе из пушки по воробьям», когда ударная доза активности воздействует лишь на малую часть от всего разнообразия субстратов (**табл. 3**).

При использовании моноферментного препарата можно достичь лучшей перевариваемости какого-либо субстрата, но присутствие других антипитательных факторов в корме будет препятствовать усвоению высвобожденных питательных веществ.

Обеспечить доступность крахмала и белка действием одного фермента практически невозможно, поскольку они инкапсулированы стенками клеток, которые представляют собой сложные структуры из сплетения волокон разного типа (Амерах А., 2014) (**Рис. 1**).

Многие специалисты считают, что основная задача НПС-ферментов состоит в снижении вязкости за счёт разрушения образующих гель полисахаридов, поскольку они подавляют усвоение питательных веществ корма. Высказывается мнение, что даже один фермент может быть результативным, если его благоприятный эффект связан исключительно со снижением вязкости, поскольку данный параметр частично обусловлен длиной полимера. Достаточно разрушить цепь молекулы в нескольких местах,

чтобы существенно снизить гелеобразующую способность полисахаридов. Но если задача состоит не только в уменьшении вязкости химуса, но и в высвобождении заключённых в клетке питательных компонентов, доступ к которым ограничен сетью из молекул бета-глюканов и арабоксианов, образующих стенку эндосперма злаковых, то применение моноферментов – ксиланазы, β -глюканазы или целлюлазы не будет эффективным (Лобанок А., 2011).

Для решения этой задачи и были созданы полиферментные кормовые добавки. Однако, доказательства в пользу их применения еще широко обсуждаются, поскольку они воздействуют только на определённую составляющую компонентов сырья. При этом было показано, что одновременное применение ферментов разного класса, например, ксиланазы и фитазы, обеспечивает четкое преимущество в результативности использования, как вязких (на основе пшеницы и ячменя), так и невязких (на основе кукурузы и сорго) рационов (Уок К. и Джувинов Д., 2016). Другое научное исследование выявило, что усвояемость фосфора улучшалась при добавлении либо фитазы, либо ксиланазы, но была наибольшей, когда оба фермента сочетались в рационе на основе пшеницы. Эта работа также показала, что фитаза и ксиланаза повышает обменную энергию и перевариваемость лизина. Это иллюстрирует то, как несколько ферментов, используемые совместно, могут действовать синергически (Nortey T.N., 2007).

Ферментные препараты можно вводить в рацион двумя способами: сверх значений питательности рациона или путем замещения показателей питательности на показатели из матриц для ферментов. Остаётся непонятно то, каким образом учитывать одновременное влияние двух отдельных ферментов на корм, когда для них нет одной единой матрицы расчёта питательности. Эту проблему и решает использование мультиферментных кормовых добавок. Сложность их создания заключается в подборе ферментов, которые будут не подавлять, а усиливать действие друг друга. По этой причине большинство мультиэнзимных фер-

ментов - это смесь моноферментов только грибного происхождения, что снижает риски антагонизма активностей, входящих в состав таких кормовых добавок. Но грибы хуже бактерий продуцируют α -амилазу, а поскольку содержание крахмала в злаковых культурах составляет около 65% крахмала (причем в незрелых семенах крахмала содержится меньше, чем у вызревших), её нехватка или отсутствие в мультиэнзимном комплексе является существенным недостатком.

Справиться с решением данной проблемы смог основатель компании «Bioproton» доктор Хенрик фон Хелленс. Он создал и запатентовал штаммы грибов *Aspergillus niger* и *Trichoderma reesei*, ферменты которых могут «уживаться» с α -амилазой, полученной от бактерии *Bacillus subtilis*. Другой отличительной чертой мультиэнзимов под маркой «Натузим», является наличие 6-ти реальных, а не номинальных активностей, перечисленных в **табл. 1**. Как уже отмечалось ранее, микроорганизмы вырабатывают набор ферментов, но в разном количестве, поэтому некоторые производители кормовых добавок следы присутствия сторонних активностей пытаются выдать за компоненты ферментного комплекса. Так появляются «легенды» о существовании мультиэнзимных препаратов, которые содержат от 3 до 20 различных ферментов (Лавренова В., 2017; Фомина О., 2007). На самом же деле, как правило, это всего лишь попытка замаскировать полиферментную добавку, что несложно выяснить, посмотрев состав, указанный в официальной инструкции.

В последние годы существенно возрос интерес к ферментным добавкам на основе протеазы, но существует предположение, что препараты с высокой протеазной активностью могут оказывать отрицательное действие, так как будут усиливать переваривание протеина, включая добавленные ферменты (Лобанок А., 2011). Большинство протеаз, представленных на рынке кормовых добавок, имеют бактериальное происхождение. В кормовую добавку «Натузим» входит протеаза, полученная от *Aspergillus niger*. Исследования показали, что бактериальная протеаза, выделенная из *Bacillus licheniformis*,

обладала пониженной скоростью гидролиза и селективностью фермента при повышенной концентрации субстрата (Butre C.I. et al., 2014). Напротив, протеаза из *Aspergillus niger* показала, что её присутствие может повысить эффективность переваривания протеина на 30% (Mandal C. et al., 2005). Протеаза в составе кормовой добавки «Натузим» не разрушает другие ферменты, входящие в её состав, чего не могут гарантировать протеазы, используемые в сочетании с другими ферментными препаратами.

В отличие от большинства ферментных кормовых добавок, «Натузим» выпускают сразу в 3-х формах, каждая из которых имеет свои преимущества для конкретного варианта использования, будь то премикс, БМВД, рассыпные или гранулированные корма (**рис. 2**).

По своему составу «Натузим 50» и «Натузим W50» эквивалентны добавке «Натузим», но концентрация ферментов в них на порядок выше.

Благодаря разнообразию входящих в «Натузим» ферментов, добавка является универсальным инструментом повышения перевариваемости кормов для всех видов с.-х. животных и рекомендована к использованию в рационах для рыб.

Для повышения рентабельности в птицеводстве, свиноводстве, скотоводстве и аквакультуре всегда следует искать наиболее эффективную и качественную ферментную добавку. Для принятия решения о ее использовании необходимо руководствоваться не только рекламными материалами, которые предоставляет производитель или продавец добавки, но и проводить сравнительные опыты, узнавать больше актуальной информации из научных статей. Основоплагающий фактор рационального выбора добавки – доказанный экономический эффект, который приносит её применение. 

Список использованной литературы включает 40 наименований и может быть предоставлен читателю по его заявке

BIOPROTON-UKRAINE - Деева Лилия,
директор представительства
+380980782119.

Официальный дистрибьютор
ТОВ «АЛЬФА-ВЕТ» - www.alfa-vet.com