

# РЕАЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОРМОВЫХ ФЕРМЕНТОВ. ЧТО ВАЖНЕЕ ЗАЯВЛЕННОЙ АКТИВНОСТИ?

**ВАСИЛИЙ ГРЕЧИШНИКОВ, АНДРЕЙ ПАНИН**, кандидаты с.-х. наук, **ЕЛЕНА МИХАЛЬЧУК**, технический специалист, **ОЛЬГА ПОЖАРСКАЯ**, компания «КормоРесурс»

Почему фермент, блестяще показавший себя в пробирке, оказывается бесполезен на предприятии? Ответ кроется не в заявленной активности, а в совокупности технологических свойств, которые часто остаются за кадром.

Использование ферментных препаратов в рационах сельскохозяйственных животных, в особенности свиней и птицы, является обязательным приемом современной практики кормления, важным для достижения максимальной экономической эффективности производства. Необходимость их применения обусловлена тем, что в большинстве компонентов растительного происхождения присутствуют антипитательные вещества, в частности некрахмалистые полисахариды (НПС). Многие из них существенно повышают вязкость содержимого кишечника, ухудшая переваримость питательных веществ корма, снижая их всасывание и создавая благоприятную среду для развития патогенной микрофлоры. Это связано с тем, что собственных ферментов, способных устранить действие данных факторов, у моногастричных животных нет.

Основу их рациона составляют зерновые культуры, которые содержат значительное количество НПС: арабиноксиланов, бета-глюканов, маннанов, целлюлозы. Для расщепления арабиноксиланов пшеницы, ржи, тритикале и продуктов их переработки применяют ксиланазу, один из самых значимых кормовых ферментов. Для расщепления  $\beta$ -глюканов ячменя и овса в состав коммерческих ферментных препаратов включают  $\beta$ -глюканазу.

Белковые компоненты растительного происхождения, в частности шроты и жмыхи, богаты клетчаткой, представленной преимущественно целлюлозой. Для ее разрушения используют целлюлазу. Кроме того, в бобовых культурах и ряде злаковых, например в кукурузе, содержатся  $\beta$ -маннаны, также повышающие вязкость химуса и ухудшающие переваримость корма. Предотвратить это негативное последствие призвана маннаназа. И наконец, для максимально эффективного усвоения протеина из рациона в него включают экзогенные протеазы.

Помимо НПС, значительным антипитательным эффектом обладают фитаты, являющиеся солями фитиновой кислоты. Они образуют комплексы с фосфором, кальцием и аминокислотами, которые практически не усваиваются моногастричными животными. Фитаты выступают и как сильные хелатирующие агенты, связывающие микроэлементы, что делает их недоступными для усвоения. Фермент фитаза не только улучшает переваримость фосфора и кальция, но и сокращает выбросы фосфора в окружающую среду, уменьшая экологическую нагрузку, которую создают животноводческие предприятия.

Особого внимания заслуживают мультиэнзимные композиции (МЭК), сочетающие в себе несколько ферментных активностей. Их применение позволяет комплексно решить проблему наличия в рационе разнообразных антипитательных факторов, особенно при широком наборе кормовых компонентов. В отличие от монопрепаратов, МЭК обеспечивают синергетический эффект, когда действие одного фермента усиливает эффективность другого, что в итоге приводит к более полному высвобождению и усвоению питательных веществ из трудноперевариваемых компонентов.

Тем не менее на практике эффективность кормовых ферментов не всегда подтверждается. Ферментный препарат, демонстрируя высокую активность *in vitro* (в концентрированном виде и идеальных условиях), *in vivo* может не оказать положительного влияния на продуктивность животных. Почему это происходит и каковы современные требования к качественным характеристикам ферментов?

Чтобы ферментный препарат проявил высокую экономическую эффективность в условиях реального производства, он должен обладать высокой исходной активностью, хорошей сохранностью при хранении, иметь оптимальный pH-профиль, отличную термостабильность при гранулировании корма. Сейчас все производители выпускают энзимы с высокой активностью. Например, на рынке есть коммерческая фитаза с активностью 100 000, 250 000 и даже 500 000 ед./г. Такая же картина наблюдается и в отношении НПС-ферментов. Благодаря возможности производить продукты со столь высокой

удельной активностью, кажется логичной идея использовать высококонцентрированные препараты, чтобы экономить затраты на логистике. Действительно, такие продукты могут иметь в несколько раз меньшую стоимость рабочей дозировки в расчете на единицу готового корма по сравнению со стандартным продуктом, оптимизированным для использования в кормопроизводстве.

Широко известен тот факт, что для обеспечения оптимальной смешиваемости и распределения любого продукта в корме крайне важен его гранулометрический состав, то есть размер и количество частиц в рекомендованной дозировке, а также максимальная однородность распределения частиц по размеру. Кроме того, важна плотность продукта. Компоненты с плотностью, существенно отличающейся от средней плотности комбикорма, подвергаются значительной сегрегации (расслоению) как в процессе его производства, так и при транспортировании.

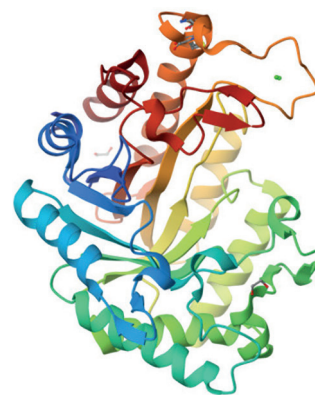
Как показал практический опыт, для равномерного распределения продукт должен иметь частицы со средним размером 120–150 мкм и дозировку не менее 100 г на тонну комбикорма. Но чтобы обеспечить достаточное количество частиц при небольшой суточной порции корма, например стартерного для цыплят-бройлеров, необходимо либо значительно уменьшить их размер, либо повысить дозировку продукта. Именно по этой причине сегодня распространена практика так называемого супердозинга ферментных препаратов в комбикормах для цыплят в возрасте до 10 дней. Если говорить о фитазе, то ее стандартная дозировка составляет в среднем 1000 FTU/кг корма, а в режиме супердозирования она достигает 2000–3000 FTU/кг.

Возвращаясь к вопросу о высококонцентрированных ферментных препаратах, мы обнаруживаем, что эффек-

тивные дозировки таких продуктов составляют всего 2–5 г на тонну комбикорма. Но такая дозировка очень мала и крайне нетехнологична для непосредственного ввода в комбикорм. Даже в случае предварительного смешивания с носителями (например, с соевым шротом или подготовленными отрубями) равномерность распределения будет тоже очень низкой. Важно отметить, что при, например, 10–20-кратном разбавлении носителя количество частиц активной субстанции (действующего вещества) не увеличивается.

Следует помнить, что активное вещество кормовых ферментов представляет собой белковую молекулу сложной структуры с несколькими активными центрами. Сорбционные центры отвечают за прикрепление молекулы фермента к расщепляемому субстрату, а каталитические — непосредственно за его расщепление. И чем выше активность фермента, тем меньшее количество его активных молекул содержится в продукте и тем легче инактивировать продукт в целом.

Молекула фермента может инактивироваться при воздействии на нее высокой температуры или давления в процессе гранулирования корма, а также в присутствии ряда агрессивных химических соединений. К таким соединениям относятся соли большинства микроэлементов (особенно



Трехмерная структура молекулы фитазы

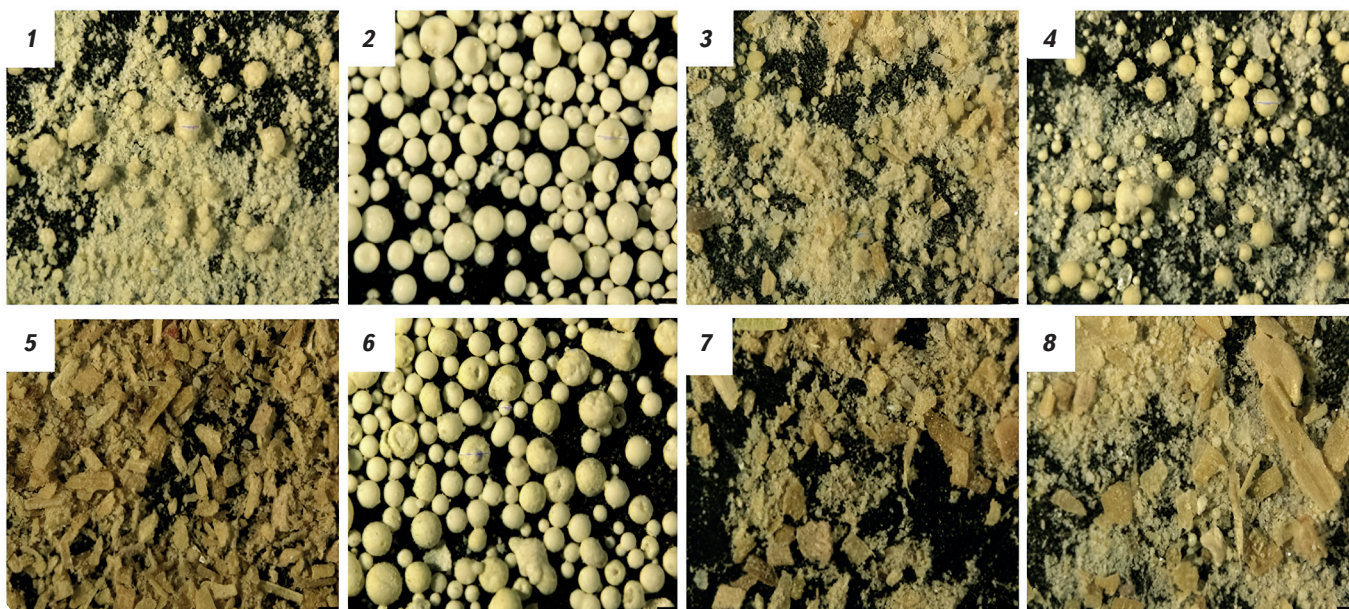


Рис. 1. Внешний вид различных коммерческих препаратов фитазы

сульфаты и хлориды цинка, железа, меди и марганца), монохлоргидрат лизина, холин хлорид, гидрохлорид бетаина. Поскольку высококонцентрированные ферментные препараты всегда представляют собой мелкодисперсные порошки, как правило, не заключенные в защитную оболочку (капсулу), они могут быстро и значительно инактивироваться указанными агрессивными компонентами, присутствующими в премиксах в больших количествах. В связи с этой особенностью категорически не рекомендуется включать такие продукты в премиксы, особенно в высококонцентрированные или содержащие монохлоргидрат лизина.

На рисунке 1, который приведен в результатах исследования [2], показан внешний вид нескольких коммерческих препаратов фитазы. Только два из восьми (2 и 6) являлись микрогранулированными продуктами хорошего качества, еще два (1 и 4) представляли собой микрогранулят, разбавленный наполнителем. Все остальные имели вид мелкодисперсного порошка, смешанного с носителем.

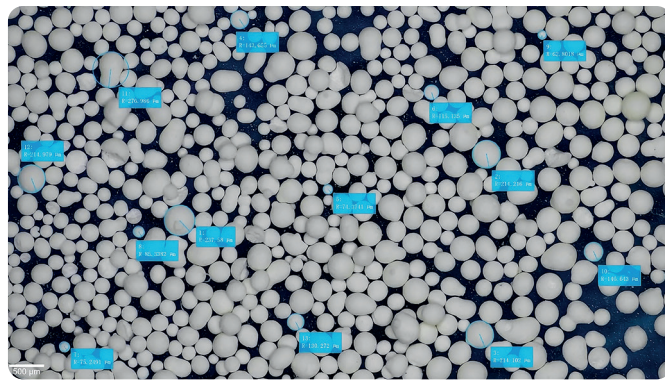
### ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТЬ

В настоящее время практически все комбикорма, в которых используются ферменты, подвергаются гранулированию. В процессе этой обработки корм нагревается до температуры 75–85°C и выдерживается в течение нескольких минут. Как отмечалось ранее, такие режимы тепловой обработки могут привести к денатурации сложной белковой молекулы фермента, потере его трехмерной структурной целостности и последующей необратимой инактивации. Решить данную проблему может технология инкапсуляции ферментов, минимизирующая контакт его молекул с водой и тем самым обеспечивающая хорошую термостабильность в процессе предварительного кондиционирования.

Однако применение при дальнейшем гранулировании высоких температур и давления, а также срезающие усилия, возникающие при прохождении корма через отверстия матрицы пресс-гранулятора, могут нарушить целостность микрогранул фермента и привести к его денатурации. Помимо инкапсуляции, пристальное внимание сегодня уделяется повышению общей термостабильности ферментов посредством генетической модификации продуцента и скрининга наиболее подходящих штаммов. Этот подход позволяет производить ферменты, обладающие достаточной термостабильностью даже без инкапсуляции.

Помимо указанных приемов, существует давно известная, но эффективная технология, позволяющая вовсе не учитывать возможную потерю активности при влаготепловой обработке корма — финишное напыление жидкого фермента на поверхность гранул готового корма после охладителя. Но для этого требуется установка специального оборудования, что усложняет производство и использование жидких форм ферментных препаратов.

В 2020 г. в Канзасском университете (США) было проведено сравнительное исследование [3] остаточной активности фитазы при различных режимах термической обработки.



Внешний вид ферментного препарата оптимального гранулометрического состава (Санфайз 10 000)

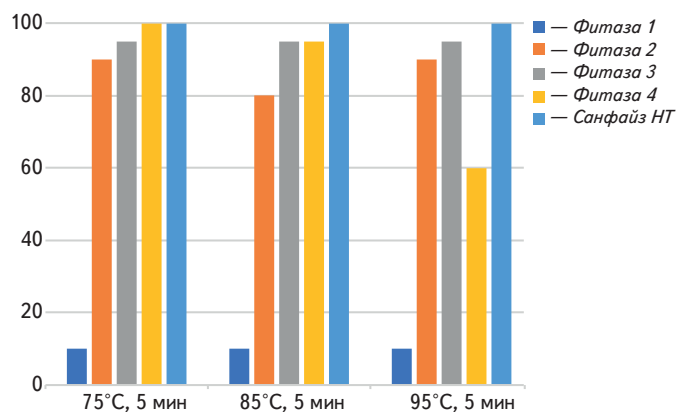


Рис. 2. Сравнение остаточной активности различных видов фитазы после термической обработки в водяной бане

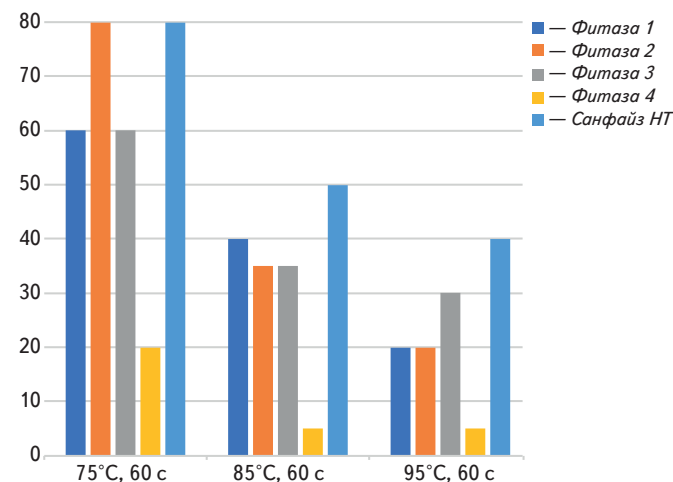


Рис. 3. Сравнение остаточной активности различных видов фитазы после гранулирования комбикорма

## Ассортимент ферментных препаратов от компании «КормоРесурс»

Форма, дозировка, фермент	Фитаза			Мультиэнзимная композиция			Ксиланаза	
	Санфайз 10 000 микрогранулят, Санфайз 10 000 L	Санфайз 20 000 Ультрафайн	Санфайз 100	Санзайм GX	Санзайм, Санзайм L	Санзайм PPXG2	Санкси	Санкси 400
Форма продукта	Сухая/Жидкая (L)	Сухая	Сухая	Сухая	Сухая/Жидкая (L)	Сухая	Сухая	Сухая
Дозировка, г/т корма	50–200	25–100	5–20	100	50–200	100–200	100–200	10–20
<i>Ферментная активность, ед / г</i>								
Ксиланаза	—	—	—	15 000	12 000	30 000	20 000	400 000
Целлюлаза	—	—	—	—	200	—	—	—
Бета-глюканаза	—	—	—	4000	4000	2800	—	—
Фитаза	10 000	20 000	100 000	—	—	10 000	—	—
Протеаза	—	—	—	—	—	3000	—	—
Манназа	—	—	—	—	200	—	—	—

На рисунках 2 и 3 представлены итоговые результаты, показывающие большие различия между разными видами фитазы: сохранность активности варьировалась от 5% в худшем случае до 75% в лучшем.

**ОПТИМАЛЬНЫЙ pH-ПРОФИЛЬ**

Активность ферментов в значительной степени зависит от уровня pH окружающей среды: одни ферменты проявляют наибольшую активность в кислой среде, другие — в щелочной (рис. 4). В связи с этим важно обеспечить максимум активности кормовых ферментов в физиологически обоснованном диапазоне. Например, фитаза должна иметь активность, которая требуется для расщепления субстрата в кислой среде желудка в течение очень ограниченного времени. Чтобы получить оптимальный уровень активности (с заданными характеристиками в необходимом диапазоне), в настоящее время применяют методы генной инженерии.

Очевидно, что выбор ферментного препарата — это не решение по принципу «чем выше активность, тем лучше». Ключевую роль играют форма, в которой выпускается препарат, гранулометрический состав частиц, термостабильность, устойчивость к компонентам корма и способность сохранять активность в условиях реального производства. Для решения комплексных задач при кормлении животных все большее значение приобретают мультиэнзимные композиции, одновременно воздействующие на различные антипитательные факторы и способствующие наиболее полному раскрытию питательного потенциала рациона.

Именно этим требованиям отвечает линейка ферментов, эксклюзивным представителем которой на россий-

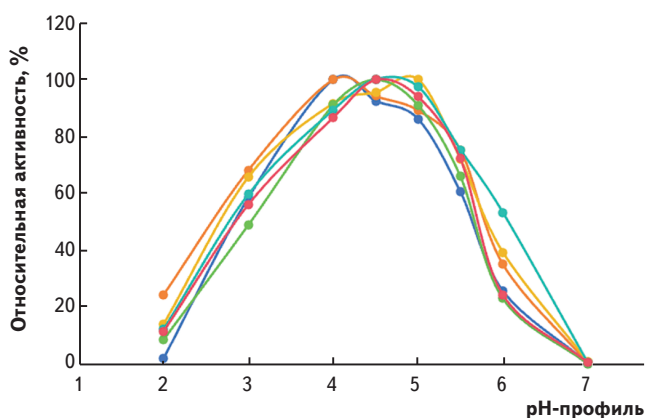


Рис. 4. Сравнение pH-профилей некоторых кормовых фитаз

ском рынке является компания «КормоРесурс» (производитель — Wuhan Sunhy Biology Co. Ltd, Китай). Все представленные продукты проходят многоступенчатый контроль для гарантии стабильности и эффективности в условиях реального производства.

*Литература/Literature*

1. Панин, И. Оценка вариаций распределения микрокомпонентов в суточном рационе / И. Панин, Ю. Колпаков, В. Гречишников, А. Панин // Комбикорма — 2011. — №4. — стр. 31–32
2. Wang, Y. Effects of Phytase Source and Dose on Its Stability during Pelleting Process under Different Conditioning Temperatures / Y. Wang, F. Zhao, H. Zhang et. al. // Animals — 2023. — 13. — 3741. — <https://www.mdpi.com/2076-2615/13/23/3741>. ■