

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ УСВАИВАЕМОГО ФОСФОРА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РАЦИОНОВ

И. ПАНИН, д-р техн. наук, **В. ГРЕЧИШНИКОВ**, **А. ПАНИН**, кандидаты с.-х. наук, **С. КУСТОВА**, компания «КормоРесурс»

В статье рассматриваются проблемы оценки содержания усваиваемого фосфора в кормовых компонентах, в том числе при использовании в составе рационов эндогенных фитаз. Раскрыты подходы к их решению в программе «Корм Оптима».

Фосфор является одним из основных структурных элементов организма. Во всех процессах, связанных с его ростом и образованием продукции (формирование скелета, увеличение мышечной массы, синтез составных частей молока, образование яиц, рост шерсти), участвуют соединения фосфорной кислоты.

Избыточное или недостаточное поступление с кормом фосфора приводит к нарушению минерального обмена веществ в организме, в первую очередь ионного равновесия и кальциево-фосфорного отношения, поэтому содержание фосфора в рационах животных должно точно соответствовать их физиологической потребности в этом макроэлементе. При составлении рациона важно знать, какое количество из общего фосфора будет усвоено животным, а какое будет выведено из организма в окружающую среду. Помимо физиологических факторов, несбалансированность рационов по фосфору приводит к загрязнению окружающей среды неусвоенным фосфором, важным экологическим параметром, закрепленным в законодательстве многих стран. По этой причине генетические компании в своих рекомендациях по содержанию фосфора в рационах приводят значения не общего, а усваиваемого фосфора, что позволяет минимизировать содержание в рационах неусваиваемого фосфора. Еще одно обстоятельство заставляет рецептологов внимательно следить за тем, чтобы уровень фосфора не был превышен: это дорогостоящий компонент, что подтверждает и постоянный рост цен на кормовые фосфаты. По нашим оценкам, источники фосфора занимают 0,6–0,9% объема рациона, а их удельный вес в стоимости составляет 2,5–3,5%.

Потребности различных видов животных в усваиваемом фосфоре хорошо изучены и описаны уравнениями регрессии, в которых параметрами выступают живая масса и другие показатели продуктивности. Поэтому при оптимизации рационов основная проблема заключается

не в оценке потребности животного в усваиваемом фосфоре, а в оценке его содержания в каждом компоненте и в прогнозировании его содержания в рационе в целом.

Усвоение фосфора зависит от многих факторов: вида животных, вида компонента и формы содержания в нем фосфора, технологических режимов обработки комбикормов (наличие или отсутствие тепловой обработки), электролитного баланса рациона, наличия в составе рациона экзогенных фитаз. Содержание усваиваемого фосфора в компонентах оценивается на основании статистических данных, накопленных по результатам балансовых опытов на животных. Опыты различных исследователей отличаются между собой условиями проведения, составами рационов, технологией производства комбикорма, методикой оценки исследуемого показателя. Все это приводит к существенным вариациям его значений и затрудняет оценку содержания усваиваемого фосфора в конкретном компоненте в практических условиях.

В таблицах 1 и 2 приводятся сравнительные значения коэффициента усваиваемости фосфора некоторых компонентов для птицы и свиней в различных системах оценки питательности. Если эти данные будут использовать неопытный специалист-рецептолог, то он может принять за истинное значение коэффициента усваиваемости фосфора совсем другую величину, что приведет к существенной погрешности при расчетах. Ситуация осложняется тем, что в настоящее время не существует единой методики оценки усваиваемости фосфора из кормов. Кроме того, есть определенные разночтения и в терминологии, относящейся к процессу усваивания фосфора животными, поэтому поясним термины, которые приводятся в различных научных публикациях.

Общий фосфор (Total phosphorus) — это весь фосфор, содержащийся в рационе или компоненте (независимо от формы связывания), определенный в результате химического анализа.



Таблица 1. Коэффициенты усвояемости фосфора из различных компонентов для свиней, %

Компонент	Система оценки				
	NRC ¹	CVB ²	Brazilian Tables ³	INRA ⁴	PN ⁵
Пшеница	56	30	34 (49)	30 (45)	25
Ячмень	45	35	—	32 (41)	28
Кукуруза	34	27	44	28	19
Шрот соевый	48	42	46	32	28
Шрот подсолнечный	29	17	—	19	15
Мука мясокостная	70	77	64	95	90
Монокальцийфосфат	83	83	78	93	90
Дикальцийфосфат	74	71	75	73	73

Источники:

¹ Nutrient requirements of swine. National Research Council (USA), 2012.

² CVB feed table. Chemical composition and nutritional values of feedstuffs, 2016.

³ Brazilian tables for poultry and swine. Feedstuff composition and nutritional. Editor: H. S. Rostagno, 2017.

⁴ D. Sauvant, J. M. Perez, G. Tran., Tables INRA-AFZ de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage: 2ème édition. INRA Editions Versailles, 2004. ISBN 2738011586.

⁵ Premier Nutrition. Assured nutrition for animals. Premier atlas, 2011.

Примечания к таблицам 1 и 2:

— в системе NRC коэффициент усвояемости относится не к общему, а к нефитатному фосфору;

— в системе INRA для птицы приводится коэффициент доступности (бройлеры), для свиней — коэффициент усвояемости. Коэффициент усвояемости для фосфатов есть величина относительная по сравнению с действием монокальцийфосфата, принятым за 100%;

— в Brazilian Tables и INRA для пшеницы и ячменя приводятся два коэффициента — для инактивированной эндогенной фитазы (первое значение) и для неинактивированной (второе значение).

Фитатный фосфор (Phytate phosphorus) — это весь фосфор, содержащийся в виде фитиновой кислоты (D-миоинозитол-1,2,3,4,5,6-гексаксидигидрофосфорной кислоты, InsP6) и ее солей.

Нефитатный фосфор (Non-phytate phosphorus) — это фосфор, выражаемый разницей между анализируемыми общим и фитатным фосфором. Фракция нефитатного фосфора состоит из различных органических и неорганических соединений. По ее составу корма отличаются друг от друга.

В некоторых компонентах (пшеница и продукты ее переработки, рожь, ячмень, тритикале) в значительном количестве присутствует эндогенная фитаза, которая может увеличивать усвояемость не только собственного фитатного фосфора, но и фитатного фосфора, содержащегося в других компонентах. По этой причине для компонентов со значительной эндогенной активностью фитазы в некоторых источниках (Brazilian Tables и INRA) приводятся два значения переваримости. Первое значение соответствует состоянию компонента, когда фитаза денатурирована, например, при тепловой обработке (гранулирование, экспандирование и т.п.). Второе значение, большее по величине, соответствует тому же компоненту без деактивации эндогенной фитазы. Однако использование второго значения проблематично из-за непостоянства активности эндогенной фитазы.

Доступный фосфор (Available phosphorus) — это доля общего фосфора, удерживаемого в организме животного, которая выражается отношением к эталону сравнения —

Таблица 2. Коэффициенты усвояемости фосфора из различных компонентов для птицы, %

Компонент	Система оценки			
	CVB	Brazilian Tables	INRA	PN
Пшеница	38	35 (50)	58	37,5
Ячмень	38	—	59	39,3
Кукуруза	30	40,8	24	30,8
Шрот соевый	42	45	22	41,5
Шрот подсолнечный	27	—	23,6	26,7
Мука мясокостная	61	62	—	90
Монокальцийфосфат	85	71	91	85
Дикальцийфосфат	78	70	76	81

высокодоступному источнику, биологическая ценность которого принята за 100%. Как правило, это монокальцийфосфат, дикальцийфосфат или динатрийфосфат (см. источник 4 под таблицами 1 и 2). Другими словами, ответы организма животных на определенный источник фосфора сравниваются с ответом на стандартный эталонный источник. В качестве критерия ответа животного используются параметры минерализации кости (% золы в голени). Следовательно, доступность фосфора является относительной величиной по сравнению с эталоном. Это не усвояемость; доступность не соответствует количеству фосфора, высвобождаемого в содержимом кишечника. Она определяется по наиболее чувствительному параметру — минерализации костей и с использованием животных в состоянии недостаточного количества фосфора для получения зоны линейной реакции. В РФ доступность фосфора из фосфатов оценивается по отношению к монокальцийфосфату. В бразильских таблицах (Brazilian Tables) — в сравнении с дикальцийфосфатом, по этой причине некоторые фосфаты имеют доступность фосфора выше 100%. Такой подход вносит существенную неопределенность, потому что многие специалисты принимают условно принятую за 100% доступность фосфора у эталона за истинную 100%-ную усвояемость фосфора в нем. Эта же погрешность распространяется потом на все виды фосфатов, доступность которых отнесена к эталону.

Усвояемый фосфор (Digestible phosphorus) — это та доля общего фосфора в рационе, которая не обнаруживается в фекалиях. Усвояемый фосфор определяется

в опытах на животных как разница между потребленным фосфором и фосфором, выделенным с фекалиями. В зависимости от учитываемых показателей различают *кажущуюся* (*apparent*), *истинную* (*true*) и *стандартизованную* (*standardized*) усвояемость фосфора. Она выражается в процентах или долях единицы.

- *Кажущаяся усвояемость* фосфора DP_A рассчитывается по формуле:

$$DP_A = (P - P_F) / P,$$

где P — количество фосфора, потребленного с кормом;
 P_F — общее количество фосфора, выделенного с фекалиями.

Этот показатель легко определяется в балансовых опытах, однако имеет погрешность из-за наличия в фекалиях фосфора некормового происхождения.

- *Истинная усвояемость* фосфора DP_T :

$$DP_T = (P - (P_F - P_{FE})) / P,$$

где P_{FE} — часть общего фекального фосфора, имеющая эндогенное (некормовое) происхождение, частично зависящая от состава рациона.

- *Стандартизованная усвояемость* фосфора DP_S :

$$DP_S = (P - (P_F - P_{FS})) / P,$$

где P_{FS} — стандартизованная, не зависящая от состава рациона часть общего фекального фосфора, имеющая эндогенное (некормовое) происхождение.

Поскольку истинная усвояемость (DP_T) может быть установлена только в балансовых опытах на животных, она не имеет практического применения; при расчетах, как правило, используется показатель DP_S .

В научной литературе встречается также термин **прецекально усваиваемый фосфор** (Precaecally digestible) — это та доля общего фосфора в рационе, которая не обнаруживается в содержимом подвздошной кишки.

На основании изложенного можно сделать вывод, что для балансирования рационов по усвояемому фосфору в программах оптимизации должно присутствовать значение DP_S для каждого компонента и для различных видов животных. Оптимизация рационов на основе стандартизованной усвояемости позволяет наилучшим образом приблизиться к реальной потребности животных в фосфоре, снизить финансовые затраты, а также минимизировать выделение фосфора в окружающую среду.

Компания «КормРесурс» для поддержания в актуальном состоянии нормативно-справочной базы программы «Корм Оптима» постоянно проводит мониторинг новых отечественных и зарубежных научных публикаций в области оценки показателей питательности компонентов, в том числе усвояемости фосфора. В новой версии программы содержа-

ние фосфора в компонентах характеризуется следующими показателями: общий фосфор; фитатный фосфор; нефитатный фосфор; фосфор, усваиваемый птицей; фосфор, усваиваемый свиньями; коэффициенты стандартизованной усвояемости фосфора птицей и свиньями. Такой набор показателей в сочетании с коэффициентами стандартизованной усвояемости фосфора птицей и свиньями, доступными для корректировки, обеспечивает высокий уровень прогноза содержания усваиваемого фосфора в рационе в целом. Содержание фитатного фосфора важно знать для оценки количества субстрата для экзогенных фитаз. В таблице 3 приведены данные о содержании фосфора в некоторых компонентах в программе «Корм Оптима».

Современные рационы для всех видов моногастричных животных обязательно содержат один или несколько видов кормовых ферментных препаратов: карбогидразы, фитазы, протеазы, которые используются для улучшения переваримости питательных веществ, сокращения ввода дорогостоящих компонентов, а в целом для снижения стоимости корма и его затрат на единицу продукции.

Для количественного учета действия ферментов в пищеварительном тракте используются их матрицы, которые составляются производителями ферментов на основании балансовых опытов по усвояемости питательных веществ. Для основных классов ферментов используемые матрицы включают следующие показатели питательности: для карбогидразы — энергию, аминокислоты, протеин; для фитазы — P, Ca, Na, энергию, протеин, аминокислоты, иногда некоторые микроэлементы; для протеазы — протеин, аминокислоты, энергию. Все эти показатели в матрицах ферментов носят виртуальный характер, поскольку сами ферменты не обладают ни энергией, ни аминокислотами, ни фосфором, а только способствуют дополнительному высвобождению данных питательных веществ из сложных соединений в компонентах.

Учитывая, что уровни ввода ферментов в рационы обычно низкие (50–200 г на 1 т комбикорма), а их эффект часто бывает значительным, матричные их значения по содержанию питательных веществ очень высокие. В таб-

Таблица 3. Содержание фосфора в некоторых компонентах в программе «Корм Оптима»

Компонент	Фосфор				
	общий	фитатный	нефитатный	усваиваемый птицей	усваиваемый свиньями
Пшеница	0,33	0,21	0,12	0,12	0,10
Ячмень	0,34	0,21	0,13	0,13	0,11
Кукуруза	0,25	0,19	0,06	0,08	0,07
Шрот соевый	0,65	0,39	0,26	0,26	0,26
Шрот подсолнечный	1,10	0,86	0,24	0,30	0,22
Мука мясокостная	3,75	—	3,75	2,81	3,00
Монокальцийфосфат	23,00	—	23,00	19,55	19,02
Дикальцийфосфат	20,00	—	20,00	15,60	14,20

Таблица 4. Матрица фермента Агрофит 5000 для кур-несушек

Показатель	Значение в матрице	Вносит в рацион
Обменная энергия, ккал/100 г	54 000	3,24
SID Лизин, %	120	0,007
SID Метионин, %	10	0,0006
SID Метионин+цистин, %	40	0,0024
SID Треонин, %	130	0,008
SID Триптофан, %	30	0,002
SID Изолейцин, %	120	0,007
P усваиваемый, %	1330	0,08

Примечание. SID — стандартизированная доступность.

лице 4 в качестве примера приведена матрица фермента Агрофит 5000 для кур-несушек и указан вклад данного фермента в питательную ценность рациона при его дозировке 60 г на 1 т комбикорма.

В большинстве случаев эффект от применения фермента в питании животных зависит от дозы и часто имеет нелинейную (линейно-логарифмическую) кривую ответа: при небольших отклонениях от рекомендованной дозы высвобождение фосфора прямо пропорционально количеству введенного фермента; при существенном превышении дозы приращение высвобождаемого фосфора имеет логарифмическую зависимость. Что касается фитазы, то реакция различных животных на определенные дозы этого фермента относительно хорошо изучена, и поставщики обычно рекомендуют разные матрицы для разных доз фитазы. В качестве примера в таблице 5 приведена матрица продукта Натуфос Е 5000 для бройлеров и индеек. Как видим, при уровне ввода этого фермента

Таблица 5. Матрица фермента Натуфос Е 5000 для бройлеров и индеек

Доза, г/т корма	Содержание P усв, %	Вносит в рацион P усв, %
50	1142,9	0,057
70	1142,9	0,080
100	1040,0	0,104
150	853,0	0,128
200	680,0	0,136

Таблица 6. Зависимость высвобождения фосфора от активности фитазы

Высвобождаемый фосфор	Активность фитазы, FTU/кг корма				
	250	500	750	1000	1500
P усв для бройлеров в возрасте 1–21 дня, %	0,058	0,075	0,092	0,114	0,170
P усв для бройлеров в возрасте 22–42 дней, %	0,065	0,084	0,106	0,131	0,184
P усв для свиней, %	0,060	0,071	0,104	0,119	0,221

50–70 г/т зависимость носит линейный характер. Далее при увеличении дозировки фермента характеристика становится существенно нелинейной. Например, при дозировке фермента 200 г/т корма в рацион вносится 0,136% усваиваемого фосфора, а не 0,228%, как следовало бы ожидать при линейной зависимости. Однако такой подход имеет и недостатки: в программы оптимизации должна быть внесена информация по всем ферментным продуктам каждого производителя, со всеми дозировками для всех видов животных. Это довольно большой объем, затрудняющий работу рецептологов.

Более универсальный вариант предложен в Brazilian Tables: для всех видов фитаз есть матрицы по видам животных (для птицы и свиней) и несколько фиксированных уровней дозировки ферментов (FTU/кг корма). В таблице 6 в качестве примера приведены значения высвобождаемого фосфора (P усв) в зависимости от активности б-фитазы при скормливании комбикорма бройлерам и свиньям.

Однако такой подход также не лишен недостатков в связи с использованием в расчетах только фиксированных дозировок. В программе «Корм Оптима» сделан следующий шаг по унификации учета воздействия фитаз на высвобождение фосфора из фитиновых соединений. На основании анализа матриц, представленных производителями ферментов, разработана универсальная модель учета действия фитаз в зависимости от их дозировки и активности. Такой подход дает возможность рецептологу подбирать оптимальную дозировку фитаз, в том числе в области нелинейной зависимости. При этом для программы неважно, как будет вводиться фитаза: непосредственно в комбикорм или в составе премикса и другой предсмеси. Неважно также, сколько различных фитаз вводится в рацион, — важна их суммарная активность.

Еще одна проблема, которую приходится решать рецептологам, возникает при вводе в рацион нескольких ферментов различного действия: карбогидраз, фитаз, протеаз. Каждый из этих ферментов описан собственной матрицей, и их совместное действие является большой и неизученной до конца проблемой хотя бы потому, что при разработке новых ферментов исследователи никогда не проводят испытания на фоне применения других ферментов. Это означает, что очень мало проведено исследований по изучению ответа животных на совместное использование ферментов различного действия. Если в части высвобождения фосфора и других минеральных веществ фитиновых соединений проблем не возникает (поскольку фитиновые соединения являются субстратом только для фитаз), то с высвобождением энергии и аминокислот дело обстоит сложнее.

Наш подход, реализованный в программе «Корм Оптима», основан на использовании закономерностей, выявленных в результате анализа научных публикаций и практических наблюдений и выраженных в виде матриц аддитивности ферментов при их совместном использовании в рационе (см. статью в № 1'2020 на стр. 81). ■