

РОЛЬ ЭСТЕРАЗЫ ФЕРУЛОВОЙ КИСЛОТЫ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КСИЛАНАЗЫ

С. ВОЛКОВ, компания «Кемин»

Сегодня кормовые ферментные препараты входят в состав большинства рационов моногастричных животных. Их эффективность давно подтверждена практикой. Экзогенные кормовые ферменты повышают усвоение питательных веществ рациона и являются мощным инструментом снижения затрат на корма и увеличения продуктивности животных и птицы.

Широко распространена группа кормовых ферментов карбогидраз, которая участвует в расщеплении сложных углеводов до простых сахаров. К этой группе относится, в частности, *ксиланаза*. Данный экзогенный фермент осуществляет гидролитическое расщепление *арабиноксиланов*, входящих в состав клеточной стенки растений (табл. 1).

Организм моногастричных животных не синтезирует собственные ферменты, расщепляющие арабиноксиланы, поэтому высокий уровень последних в рационе ограничивает доступность энергии. Кроме того, растворимые арабиноксиланы повышают вязкость содержимого кишечника, затрудняя усвоение других питательных веществ.

По своей химической структуре арабиноксиланы представляют собой полисахариды группы гемицеллюлоз, мономеры которых ксилоза и в меньшей степени — арабиноза. Под действием ксиланазы разрушается цепь арабиноксилана с образованием моносахаров, участвующих в углеводном обмене. Важно учитывать, что арабиноксиланы клеточной стенки не являются линейным полисахаридом. У них сложная разветвленная структура и разное строение в различных растительных клетках. Такая структура формируется путем образования связей с фенольными соединениями.

По представлениям, фенольные соединения обеспечивают защиту расти-

тельной клетки от заболеваний, в том числе от грибковых патогенов.

Одним из наиболее распространенных представителей фенольных соединений клеточной стенки является *феруловая кислота*. Она составляет до 3% от сухой массы клеточной стенки злаков и представляет собой карбоновую кислоту, способную легко взаимодействовать с молекулой

Таблица 1. Содержание арабиноксиланов в основных компонентах комбикормов, % от сухого вещества

Компонент	Арабиноксиланы	
	растворимые	нерастворимые
Пшеница	1,6	6,0
Кукуруза	0,5	3,8
Ячмень	1,2	7,2
Рожь	3,2	6,5
Пшеничные отруби	1,7	22,1
Соевый шрот	1,1	3,4
Подсолнечный шрот	1,3	7,8
Рапсовый шрот	1,6	4,4

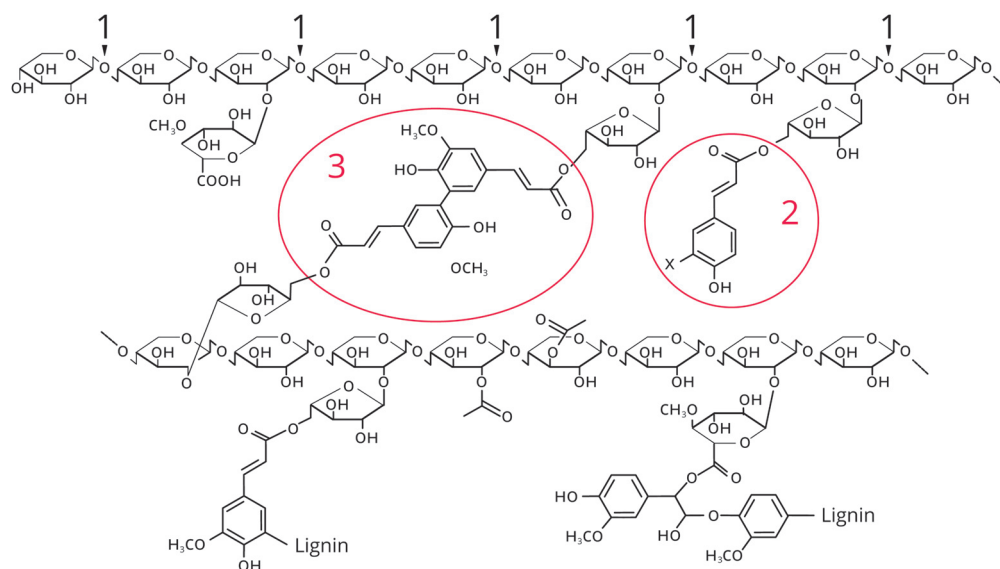


Рис. 1. Взаимодействие арабиноксиланов, феруловой и диферуловой кислот:
1 — точки воздействия ксиланазы — расщепление цепи арабиноксилана на моносахариды; 2 — феруловая кислота; 3 — диферуловая кислота

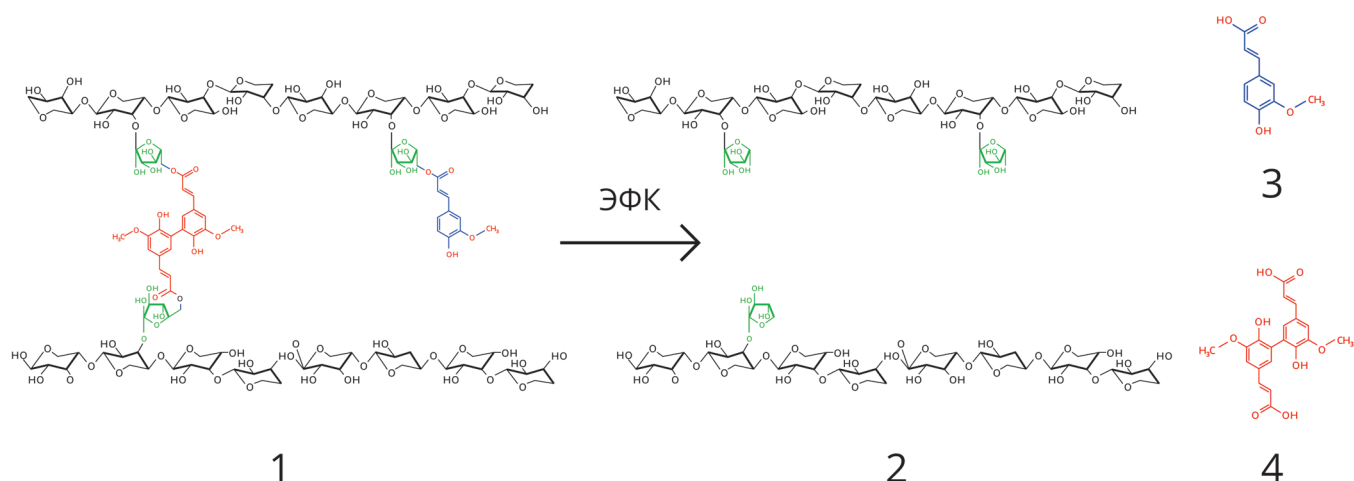


Рис. 2. Механизм действия ЭФК (отщепление феруловой и диферуловой кислот от молекулы арабиноксилана):

1 — две молекулы арабиноксилана, связанные диферуловой кислотой, действие ксиланазы ограничено;

2 — две молекулы арабиноксилана после расщепления диферулового мостика, ксиланаза более эффективна;

3 — феруловая кислота; 4 — диферуловая кислота

арабиноксилана. Феруловая кислота также может вступать в реакцию димеризации с образованием *диферуловой кислоты*, которая в свою очередь взаимодействует уже с двумя молекулами арабиноксилана, образуя связь между ними (рис. 1). При таком взаимодействии арабиноксиланы, связанные феруловой и диферуловой кислотами, образуют сложные полицепочечные соединения, а это снижает эффективность действия ксиланазы.

Чтобы повысить эффективность кормовой ксиланазы, необходимо разрушить связь между арабиноксиланом и феруловой (диферуловой) кислотой. Добиться этого возможно с помощью применения фермента эстеразы феруловой кислоты (ЭФК), что приводит к гидролизу эфирных связей между арабиноксиланом и феруловой или диферуловой кислотой (рис. 2). В результате образуются свободные цепочки арабиноксиланов, которые расщепляются под воздействием ксиланазы.

Данное предположение получило обоснование в ряде исследований *in vitro*. На рисунке 3 представлены результаты теста по высвобождению простых сахаров из кормового субстрата.

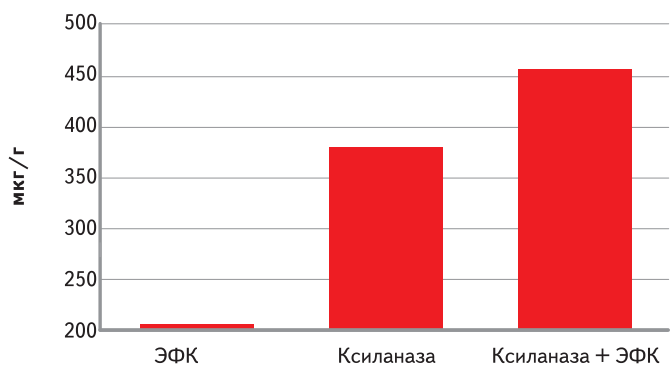


Рис. 3. Высвобождение простых сахаров под действием ферментов

Высвобождение моносахаров при использовании чистой ксиланазы составило 380 мкг/г, при применении комплекса из ксиланазы и ЭФК — 460 мкг/г. В условиях данного опыта присутствие эстеразы феруловой кислоты повысило эффективность действия ксиланазы на 21%. Таким образом, ЭФК выступает в качестве *ксиланазо-потенцирующего фактора*. В соответствии с этой концепцией компания «Кемин» разработала мультиэнзимную кормовую добавку **Кемзайм® XPF сухой**. Основные ее активные компоненты — ксиланаза и эстераза феруловой кислоты (производитель последней — грибы рода *Hutnicola*). Наличие ЭФК приводит к усилению действия ксиланазы.

Высокая эффективность Кемзайма XPF подтверждается значительным количеством испытаний *in vivo*. Ниже представлены результаты эксперимента на цыплятах-бройлерах, проведенного в условиях исследовательского центра.

Для опыта 320 суточных петушков-бройлеров кросса Росс 308 разделили на четыре группы по 80 голов, в восьми повторностях (клетках) на группу. Средняя начальная живая масса цыплят составляла 41,2 г. Продолжительность выращивания — 35 дней.

Птица каждой группы получала различные рационы в соответствии со схемой опыта:

- ПК (положительный контроль) — основной рацион без добавления ферментов;
- ОК (отрицательный контроль) — рацион ПК с уменьшенным содержанием обменной энергии на 65 ккал/кг и усвояемых аминокислот на 2,5%;
- ОК+XPF — рацион ОК с мультиэнзимной добавкой Кемзайм XPF в количестве 250 г/т комбикорма;
- ОК+А — рацион ОК с конкурентной ферментной добавкой, содержащей ксиланазу, бета-глюканазу и целлюлазу. Норма ввода добавки — согласно инструкции.

Таблица 2. Состав и питательность рационов бройлеров, %

Компонент	Старт		Рост		Финиш	
	ПК	ОК	ПК	ОК	ПК	ОК
Кукуруза	43,09	26,07	45,30	27,94	50,24	32,86
Соевый шрот, СП — 45%	39,13	34,33	36,82	31,53	31,61	27,37
Пшеница	10,00	20,00	10,00	20,00	10,00	20,00
Тритикале	—	10,00	—	10,00	—	10,00
Подсолнечный шрот, СП — 34%	—	2,28	—	3,00	—	2,00
Соевое масло	3,42	2,88	4,24	3,81	4,71	4,25
Известняковая мука	1,40	1,42	1,27	1,28	1,13	1,15
Монокальцийфосфат	0,94	0,91	0,76	0,73	0,62	0,60
Соль поваренная	0,26	0,25	0,06	0,07	0,23	0,23
Сода	0,12	0,13	0,06	0,07	0,05	0,05
Монохлоргидрат лизина	0,20	0,28	0,13	0,20	0,12	0,18
DL-метионин	0,33	0,32	0,30	0,28	0,24	0,23
L-треонин	0,10	0,12	0,05	0,08	0,04	0,07
Премикс	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Фитаза 5000 ед.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
<i>Питательность</i>						
Сырой протеин	22,50	22,15	21,50	21,15	19,50	19,15
Сырой жир	5,74	4,81	6,59	5,75	7,13	6,28
Сырая клетчатка	3,19	3,45	3,12	3,49	2,98	3,30
Ca	0,835	0,835	0,745	0,745	0,655	0,655
P усв.	0,34	0,34	0,30	0,30	0,26	0,26
Na	0,145	0,145	0,125	0,125	0,115	0,115
Cl	0,24	0,25	0,22	0,23	0,21	0,22
Лизин усв.	1,240	1,220	1,126	1,100	1,000	0,980
Метионин усв.	0,618	0,598	0,579	0,551	0,500	0,480
Метионин+цистеин усв.	0,910	0,890	0,862	0,833	0,760	0,740
Треонин усв.	0,800	0,788	0,730	0,718	0,650	0,638
Триптофан усв.	0,244	0,236	0,232	0,224	0,207	0,200
Валин усв.	0,912	0,877	0,874	0,840	0,790	0,756
Изолейцин усв.	0,851	0,811	0,813	0,772	0,727	0,690
Аргинин усв.	1,376	1,317	1,312	1,256	1,170	1,111
Обменная энергия, ккал/кг	2950	2885	3035	2970	3125	3060

Таблица 3. Показатели продуктивности бройлеров

Группа	Старт			Рост			Финиш			За весь период		
	Живая масса, г	Потребление корма, г	Конверсия	Живая масса, г	Потребление корма, г	Конверсия	Живая масса, г	Потребление корма, г	Конверсия	Живая масса, г	Потребление корма, г	Конверсия
ПК	233,8	269,0	1,152	836,8	1530,8 ^a	1,830 ^a	1106,1	1518,7 ^{ab}	1,381 ^a	2176,6 ^{ab}	3318,5 ^a	1,526 ^a
ОК	223,2	265,5	1,190	811,5	1600,0 ^b	1,976 ^b	1054,1	1752,6 ^c	1,666 ^c	2088,9 ^c	3618,1 ^c	1,732 ^c
ОК+XPF	225,5	260,2	1,156	859,2	1566,3 ^{ab}	1,825 ^a	1130,4	1586,6 ^{ab}	1,406 ^a	2215,1 ^a	3413,1 ^{ab}	1,541 ^a
ОК+A	228,2	274,0	1,200	865,7	1598,7 ^b	1,850 ^a	1038,5	1595,5 ^b	1,539 ^b	2132,5 ^{bc}	3468,2 ^b	1,627 ^b
P-значение	0,31	0,56	0,34	0,23	0,04	0,0092	0,05	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01



Таблица 4. Результаты балансовых опытов

Группа	Отложение		Фекальная усвояемость				
	Сухое вещество	Азот	Сырой жир	Крахмал	Валовая энергия	Кажущаяся обменная энергия, ккал/кг	КОЭ/ВЭ
ПК	0,709 ^c	0,629 ^{ab}	0,796 ^{ab}	0,954 ^a	0,734 ^a	3033,5 ^a	0,730 ^a
ОК	0,670 ^b	0,568 ^d	0,778 ^a	0,932 ^b	0,689 ^b	2825,6 ^b	0,685 ^b
ОК+ХРФ	0,687 ^b	0,600 ^c	0,785 ^a	0,974 ^c	0,725 ^a	3015,2 ^a	0,720 ^a
ОК+А	0,681 ^b	0,602 ^{bc}	0,793 ^{ab}	0,957 ^a	0,704 ^b	2879,1 ^b	0,699 ^b
P-значение	< 0,01	0,04	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Примечание. В таблицах 3 и 4 разными буквенными индексами отмечены значения, имеющие статистически достоверную разницу при $P < 0,05$.

Применялась трехфазная программа кормления: старт — до 11 дней; рост — 12–24 дня; финиш — 25–35 дней. Состав и питательность рационов представлены в таблице 2.

На 18 и 21 день проводили балансовые опыты для исследования усвояемости питательных веществ с использованием оксида титана в качестве маркера. Основные зоотехнические показатели представлены в таблице 3.

На 35 день жизни (окончание эксперимента) у бройлеров, получавших корм с добавлением Кемзайма ХРФ, была наибольшая живая масса по сравнению с аналогами из других групп.

В конверсии корма у группы положительного контроля и группы с пониженным уровнем энергии и добавлением Кемзайма ХРФ статистически достоверной разницы не отмечено. В группе отрицательного контроля этот показатель был значительно хуже ($P < 0,01$) по сравнению с другими группами. Конверсия корма у бройлеров, получавших конкурентный мультифермент, оказалась достоверно хуже ($P < 0,01$), чем у птицы, рацион которой содержал Кемзайм ХРФ, и птицы положительного контроля (рис. 4).

В таблице 4 показаны результаты балансовых опытов по определению усвояемости питательных веществ. Бройлеры, потреблявшие корм с Кемзаймом ХРФ, отличались наиболее высокой переваримостью крахмала ($P < 0,01$). В группе отрицательного контроля переваримость крахмала была наименьшей.

Сходные данные получены и по кажущейся обменной энергии. Не выявлено статистически достоверных различий у бройлеров группы положительного контроля и получавшей Кемзайм ХРФ, несмотря на уменьшение энергетической ценности их рациона. В свою очередь не обнаружено достоверных различий по кажущейся обменной энергии в группе отрицательного контроля и получавшей конкурентный энзим. Это согласуется с результатами по конверсии корма (рис. 5).

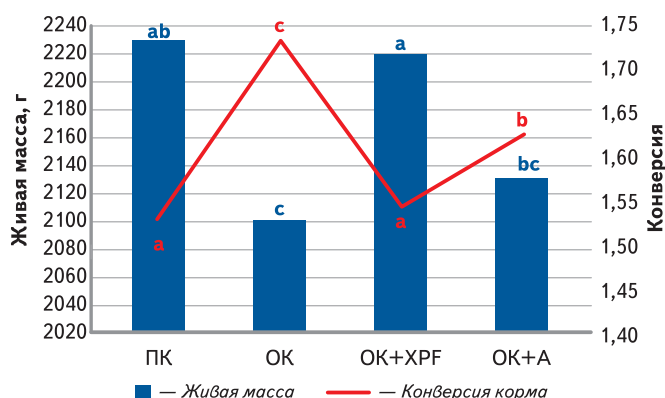


Рис. 4. Живая масса бройлеров и конверсия корма на 35 день

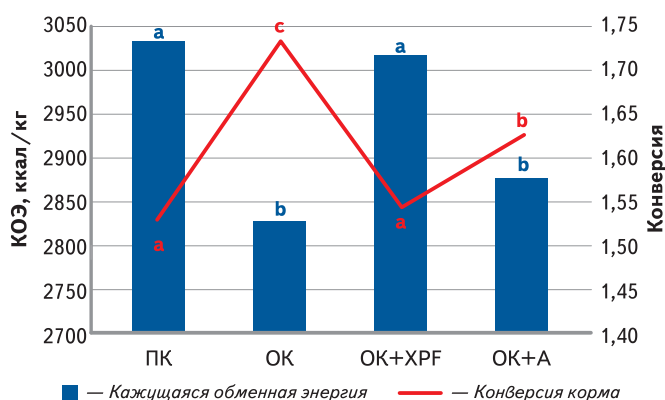


Рис. 5. Кажущаяся обменная энергия и конверсия корма

Таким образом, мультиэнзимная кормовая добавка Кемзайм ХРФ сухой способствует сохранению продуктивности цыплят-бройлеров даже в условиях пониженной питательности рациона (уменьшение уровня обменной энергии на 65 ккал/кг и аминокислот на 2,5%). Эстераза феруловой кислоты, которая является одним из активных компонентов этой добавки, позволяет поднять эффективность действия ксиланазы еще на одну ступень. ■

Список литературы предоставляется по запросу.