

РЕЗУЛЬТАТЫ 7-ЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА 54 МИКОТОКСИНОВ В ОБРАЗЦАХ КОРМОВОГО СЫРЬЯ

Микотоксины — это вторичные метаболиты плесневых грибов, таких как *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Claviceps* и некоторых других. Поступление микотоксинов в организм животных может приводить к ухудшению их здоровья и продуктивности и, как следствие, к экономическим потерям.

При упоминании микотоксинов чаще всего имеют в виду только несколько соединений, для которых установлены ПДК/МДУ: афлатоксин В1, дезоксиниваленол (ДОН), Т-2 токсин, зеараленон, охратоксин А, фумонизин (далее — регулируемые). Но важно учитывать, что помимо этих регулируемых микотоксинов, кормовое сырье и готовые корма часто содержат другие виды микотоксинов в различных концентрациях, которые не являются безвредными для организма, несмотря на отсутствие формальных уровней риска.

Современные исследования показывают, что микотоксины оказывают негативное влияние на животных *даже* при концентрациях *ниже установленных лимитов*, особенно при *совместной контаминации* со стороны двух и более микотоксинов. Это выявлено в работах многих авторов, в том числе Penagos-Tabares и соавт. (2023) на коровах, Jia и соавт. (2020) на свиньях, Kolawole и соавт. (2020) на бройлерах. Поэтому фактический риск, связанный с потреблением контаминированного сырья и кормов, определяется не только концентрацией отдельных микотоксинов и продолжительностью их поступления в организм, но и *одновременным присутствием* нескольких микотоксинов. В таких случаях суммарный эффект может быть намного выше, чем при воздействии каждого токсина в отдельности за счет *синергизма*.

ЦЕЛЬ настоящей работы заключалась в оценке распространенности (частоты обнаружения) и концентрации 54 различных микотоксинов в зерновых культурах (пшеница, ячмень, кукуруза) и основных кормах для крупного рогатого скота (кукурузный силос, травяной сенаж) в странах Европы и России.

МЕТОДИКА

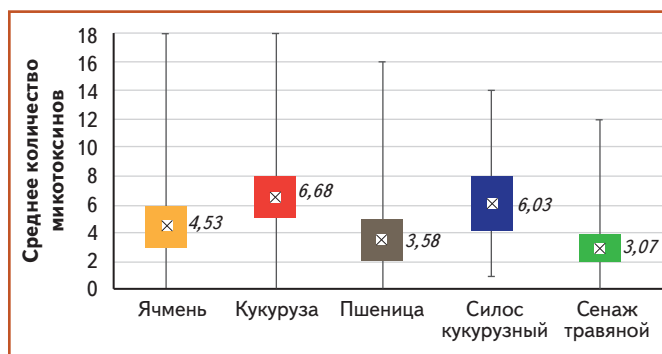
Пробы поступали в рамках ежегодной кампании по оценке рисков нового урожая Alltech European Harvest Analysis Survey, с точки зрения загрязненности микоток-

синами. Образцы собирали в 23 странах. Исследование охватило 7 урожаев (с 2018 по 2024 гг.), основная часть проб была получена в период с июля по декабрь. В общей сложности проанализировано 2635 образцов, в том числе ячменя — 710, кукурузы — 387, пшеницы — 743, кукурузного силоса — 328, травяного сенажа — 467.

Определяли 54 вида микотоксинов в аккредитованной лаборатории Alltech 37+ (ISO/IEC 17025) методом ультравысокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с тандемной масс-спектрометрией (UPLC—MS/MS).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В одной пробе зерновых содержалось в среднем 3,6–6,7 различных микотоксинов, силоса — 3,1–6,0. Зерно кукурузы и кукурузный силос оказались лидерами по количеству одновременно присутствующих микотоксинов — в среднем 6,68 и 6,03, соответственно (рисунок). Максимальное число обнаруженных микотоксинов в одной пробе достигало 18.



Среднее количество одновременно присутствовавших микотоксинов в различных видах сырья

В таблице представлена детальная информация по наиболее часто встречаемым микотоксинам в каждом виде сырья, а также их средняя и максимальная концентрации.

КЛЮЧЕВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Совместная (множественная) контаминация сырья является скорее нормой, чем исключением. В 89,5% всех образцов содержалось два или более микотоксинов одновременно. При этом в отношении некоторых комбинаций достоверно установлено наличие синергетического эффекта. Ярким примером стало сочетание ДОН и фузариевой кислоты, которые вошли в тройку наиболее распростра-

Топ-5 микотоксинов по частоте обнаружения в различных видах сырья (доля положительных проб, %), их средняя и максимальная концентрации (мкг/кг)					
Концентрация	Пшеница	Ячмень	Кукуруза (зерно)	Кукурузный силос	Травяной сенаж
	ENN A/A1	ENN A/A1	FA	DON	FA
	65,0%	75,1%	92,8%	96,7%	59,1%
Средняя	8,7	44,9	193,6	1492,6	39,8
Максимальная	955,5	843,0	2050,3	72 361,9	546,1
	DON	ENN B/B1	FB2	FA	PA
	62,5%	75,1%	79,8%	89,0%	50,8%
Средняя	168,4	243,5	108,9	673,9	246,7
Максимальная	6758,4	4349,2	3791,8	35 870,7	3945,9
	ENN B/B1	DON	MON	ENN B/B1	DON
	62,2%	64,4%	76,7%	55,8%	48,6%
Средняя	35,1	224,3	307,4	28,78	39,5
Максимальная	2246,3	27 088,9	8825,5	1130,4	648,7
	FB2	HT-2	FB1	ENN A/A1	ENN B/B1
	24,9%	33,2%	76,2%	54,9%	37,9%
Средняя	5,1	16,5	1688,9	10,2	8,1
Максимальная	139,9	370,6	25 004,4	144,0	218,6
	FUSX	MON	FB3	FB2	ENN A/A1
	16,4%	31,8%	70,3%	43,0%	37,0%
Средняя	10,6	16,0	100,6	40,4	8,8
Максимальная	1545,9	627,9	2139,5	889,0	516,0

Примечание: DON — дезоксиниваленол; FA — фузариевая кислота; ENN — энниатины; MON — монилиформин; FB — фумонизины; FUSX — фузаренон-Х; PA — пеницилловая кислота. Цветом выделены микотоксины, для которых не разработаны ПДК.

ненных микотоксинов в образцах проб силоса и сенажа. Механизмы синергизма между этими двумя соединениями были детально изучены и подробно описаны в многочисленных работах Треворы Смита и соавторов (Гуэлфский университет, Канада).

Новые нерегулируемые микотоксины. Среди наиболее распространенных микотоксинов оказалось много видов, для которых не разработаны ПДК/МДУ: энниатины, монилиформин, фузариевая кислота и др. Эти микотоксины не входят в стандартные программы рутинного контроля и не имеют законодательных лимитов, однако доказательств об их повсеместной распространенности становится все больше. В англоязычной литературе эти соединения часто относят к группе «появляющихся» микотоксинов (emerging micotoxins). Пренебрежительное отношение к «вкладу» этих микотоксинов в совокупную токсичность корма приводит к недооценке реальных рисков, особенно в условиях совместной контаминации.

Афлатоксин В1 почти не выявлялся в пшенице, ячмене, силосе и сенаже: следы (менее 5 мкг/кг) обнаружены менее чем в 3% исследованных образцов. Исключение составляли образцы кукурузы, в которых он был обнаружен в 12,7% проб, однако средняя концентрация оставалась очень низкой (менее 5 мкг/кг).

Наиболее контаминированными по числу микотоксинов ожидаемо были образцы зерна кукурузы и кукурузного силоса. Следует отметить, что средняя концентрация дезоксиниваленола в кукурузном силосе примерно в 1,5 раза превышала установленный в России предельно допустимый уровень содержания.

ВЫВОДЫ

Полученные данные указывают на высокую вероятность постоянного фонового поступления в организм животных нескольких микотоксинов. Существенная часть обнаруженных соединений относится к нерегулируемым, для которых не установлены ПДК/МДУ. Вследствие этого мониторинг и программы управления риском не должны ограничиваться исключительно «регулируемыми» микотоксинами. Оценка риска только по ПДК отдельных токсинов сопоставима с попыткой определить силу шторма по высоте отдельных волн.

В каждом конкретном случае эффект от потребления контаминированных кормов многофакторный: значение имеют вид микотоксинов, их сочетание, дозы и продолжительность поступления в организм. Большую роль играет и то, как этот токсикологический фон накладывается на ветеринарную ситуацию в хозяйстве, качество кормления, производственные стресс-факторы и т.д.

Для практической оценки совокупного риска компания Alltech применяет подход, основанный на *количественном эквиваленте* токсичности, который отражает суммарный риск со стороны всех обнаруженных микотоксинов с учетом их концентраций и чувствительности к ним различных видов и групп животных. Данный инструмент позволяет сравнивать партии сырья и кормов и прогнозировать потенциальное влияние контаминации на ключевые показатели продуктивности. ■