

## «Химия» в кормах

Известно, что многие птицеводческие, животноводческие и звероводческие хозяйства, а также питомники и заводчики домашних любимцев сталкиваются с серьёзными проблемами, которые обусловлены низким качеством кормов. Значительная часть кормов, применяемых при выращивании и откорме поголовья, содержит микотоксины (**МКТ**), тяжелые металлы, радиоактивные изотопы и другие вредные вещества, такие как полиароматические углеводороды (**ПАУ**) и стойкие органические загрязнители (**СОЗ**). Это приводит к интоксикации животных, снижению сохранности поголовья, повышенному расходу кормов и пониженным товарному весу и потребительским свойствам выпускаемой продукции. Известно, что целый ряд микотоксинов, ПАУ и СОЗ в существенной степени (от 5 до 80% от количества, содержащегося в корме) переносятся в готовую продукцию животноводства — яйца, икру, мясо, молоко и молочные продукты. И часто специально применяемые кормовые добавки и **адсорбенты** не позволяют полностью справиться с такой ситуацией. Это связано с рядом причин.

Во-первых, современные адсорбенты, применяемые в животноводстве, имеют ограниченную адсорбционную ёмкость по отношению к значительной части микотоксинов (40 — 45%).

Во-вторых, токсичность кормов зачастую обусловлена не одними микотоксинами. Здесь следует отметить, что все ПАУ и СОЗ, широко распространённые в окружающей среде, а это несколько сотен весьма устойчивых, токсичных и опасных по отдаленным последствиям соединений, представляют собой

липофильные субстанции с высоким индексом биоаккумуляции, т.е. имеют тенденцию к накоплению в организме на одном уровне пищевой цепи. При этом, большинство «традиционных» кормовых адсорбентов не обладают способностью к их эффективному связыванию и удалению этих неполярных соединений из желудочно-кишечного тракта. Многие из них, кроме всего прочего, способны усиливать токсические эффекты микотоксинов и друг друга.

Итак, какие основные виды загрязнений в кормах для сельскохозяйственных животных, представляют наибольшую опасность?

1. Тяжелые металлы (Cd, Hg, Pb, As, Tl и т.д.)
2. Радиоактивные элементы (Cs<sup>137</sup>, Sr<sup>60</sup> и др.)
3. Микотоксины (МКТ)
4. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)
5. Стойкие органические загрязнители (СОЗ)

В наших обзорах тяжёлые металлы и радиоактивные изотопы рассматриваться не будут, поскольку, во-первых, никому в голову не приходит выращивать кормовые культуры на отвалах металлургических комбинатов или в зоне радиоактивного заражения и, во-вторых, те количества этих загрязнений, которые попадают в корма из общего экологического фона, достаточно эффективно удаляются из желудочно-кишечного тракта глинами и другими полярными алюмосиликатными адсорбентами.

Остановимся на трёх последних группах химических соединений, поскольку именно они, по мнению специалистов, представляются наиболее опасными для животных и человека при включении в пищевые цепи.

С древних времён для выращивания домашних животных и питания людей используют злаковые растения. Различные злаковые объединяет строение растений, а также способ их выращивания.

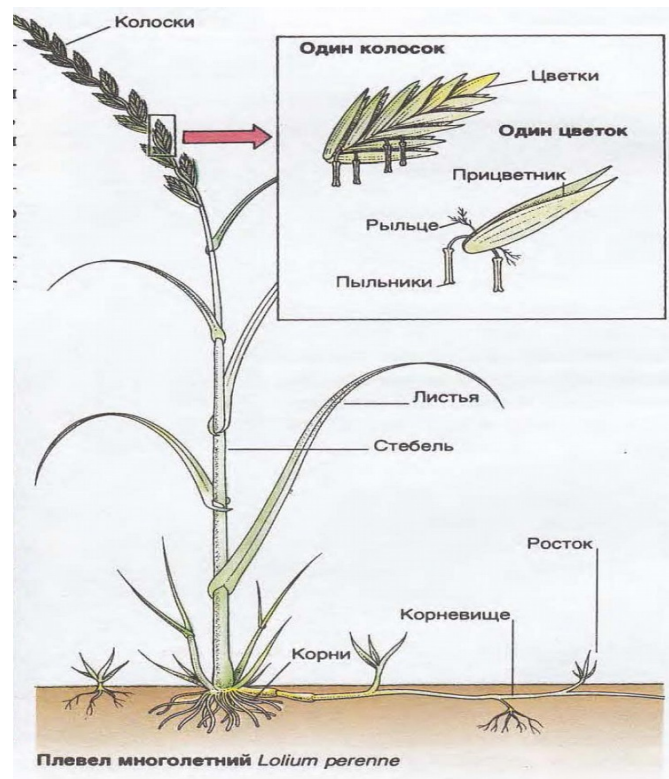


Рисунок 1. Общее строение злаковых растений.

Все злаковые состоят из корневой системы, стебля, листьев и плодов в виде зёрен, покрытых оболочкой. Все они произрастают под открытым небом в тёплое время года и подвергаются как атмосферным отложениям в виде пыли, так и атмосферным осадкам в виде дождя. Следует отметить, что многие кормовые травы для крупного рогатого скота (КРС) и ряда других животных также относятся к злаковым, но выращиваются они не ради получения зерна, а для производства кормовой зелёной массы, а также

консервированных продуктов из травы в виде силоса, сенажа или сена, гранулята и т.д.

Рассмотрим поступление самых опасных и токсичных из СОЗ в разные части злакового растения. В этом примере использован рис, но в очень близкой степени эти данные относятся и к другим злаковым.

Таблица 1. Накопление полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов в различных частях злаковых растений.

<b>Объект</b>	<b>Содержание токсинов (пг-ТЕQ/г)</b>	<b>Относительное загрязнение части растения</b>
Почва	120	
Часть растения:		
Сок ксилемы	<0,0001	0,1
<b>Зерно</b>	<b>0,0011</b>	<b>1</b>
Стебель	0,05	45
Оболочка зерна	0,38	345
<b>Листья</b>	<b>4,1</b>	<b>3741</b>

В среднем столбце таблицы указана концентрация **диоксинов** в почве и в разных частях растения, а в правом указано относительное содержание диоксинов в конкретной части растения по сравнению с его концентрацией в зерне. Низкая концентрация диоксинов в соке ксилемы свидетельствует о том, что всасывание диоксинов корневой системой растения вносит в общий процесс накопления весьма незначительный вклад. Данный пример с очевидностью показывает, что наиболее высокое количество диоксинов содержится в листьях, за которыми следуют оболочка зерна и

стебель. Можно сделать вывод, что зерно, благодаря наличию оболочки, надёжно защищено от попадания диоксинов, а также других СОЗ. Как было установлено в многочисленных экспериментах, основной путь распространения и миграции СОЗ и диоксинов, в том числе, из мест с их высокой концентрацией состоит в возгонке в атмосферу из почвы, адсорбции в воздухе на пылевых частицах и в переносе ветром пылевых частиц, содержащих СОЗ, на большие расстояния с последующим отложением пыли на почву и растения. Поскольку у злаковых поверхность листьев намного превышает поверхность зерновых оболочек и вертикального стоящего стебля, наибольшие количества частиц пыли с токсинами оседает именно на листьях, что подтверждается данными, представленными в таблице. Поэтому, как было установлено, зерно злаковых чаще поражается микотоксинами, а зелёная часть растения, кроме микотоксинов, может содержать также значительные концентрации СОЗ и сходных с ними по физико-химическим свойствам полиароматических углеводородов, или ПАУ. При этом их совокупная концентрация в зелёной массе может превышать таковую в зерне в сотни и тысячи раз.

Принимая во внимание основные виды кормов, которые используют в разных отраслях животноводства, большую часть сельскохозяйственных животных можно условно разделить на две основные группы. Первая из них состоит из птицы разных видов, свиней и разных видов рыбы. Эту группу объединяет то, что основу их рациона составляет зерно злаковых культур и комбикорма на основе зерна. Основные токсичные примеси в зерне, как известно, обычно представлены различными микотоксинами. В рационы для рыб кроме зерна также обычно включают рыбную муку, которая, как и любой продукт

животного происхождения, может содержать некоторое количество ПАУ и СОЗ. Их концентрация в значительной степени зависит от района мирового океана, в котором выловлено сырьё для её производства.

Вторая группа животных представлена коровами, буйволами, верблюдами, козами, овцами и лошадьми. Основу рациона для этих животных составляют зелёные части травянистых растений. Как было упомянуто выше, зеленые растения и продукты их консервирования, в добавок к микотоксинам, всегда загрязнены СОЗ и ПАУ в различных концентрациях. Эти данные представлены в следующей таблице.

Таблица 2. Токсины в кормах сельскохозяйственных животных.

<b>Животные</b>	<b>Основной компонент корма</b>	<b>Основные токсические примеси в корме</b>
Птица, Свинья, Рыба	<b><u>Зерно</u></b> и корма на его основе	Микотоксины (МКТ)
Корова, Буйвол, Верблюд Коза, Овца, Лошадь	<b><u>Трава</u></b> и корма на её основе	Микотоксины (МКТ) Стойкие органические загрязнители (СОЗ) Полиароматические углеводороды (ПАУ)

Из этих данных следует, что основную угрозу для состояния здоровья животных из первой группы представляют МКТ, а животные второй группы могут подвергаться дополнительному токсическому воздействию со стороны ПАУ и

СОЗ. Поэтому, если при содержании животных первой группы, как правило, достаточным представляется применение «традиционных» адсорбентов микотоксинов, то для животных второй группы появляется необходимость в выборе других или дополнительных кормовых адсорбентов, которые способны связывать и выводить из организма животных не только МКТ, но и ПАУ, и СОЗ. Следует учитывать также «образ жизни» животных из первой и второй групп. Первые содержатся в закрытых обогреваемых помещениях и дышат профильтрованным от пыли воздухом. Вторая группа животных большую часть времени в странах с тёплым и умеренным климатом проводит на открытом воздухе в непосредственном контакте с травами, пылью и почвой, которые могут содержать значительные концентрации ПАУ и СОЗ.

В эту схему хорошо укладываются данные о содержании диоксина в обычных куриных яйцах и т. н. яйцах «органик» от кур на свободном выпасе, т. е., имеющих на «прогулках» свободный доступ к траве, почве и насекомым. В яйцах с обычной птицефабрики, как было установлено, содержание диоксина и других СОЗ было значительно ниже (в 5-10 раз), чем в «фермерских» яйцах категории «органик».

Особая группа животных представлена хищниками, которые содержатся в домашних условиях в качестве любимцев (кошки, собаки, хорьки и т. д.) и в качестве источника мехового сырья на зверофермах (лисы, песцы, норки, соболи и т. д.). В природных условиях хищники стоят на вершинах пищевых цепей и потребляют в основном мясную пищу, подвергаясь при этом из-за **биомагнификации** более высокому риску накопления липофильных токсинов по сравнению с травоядными животными. Под биомагнификацией обычно

понимают скачкообразное увеличение накопления липофильных веществ в организме при продвижении вверх по ступеням пищевой цепи. Концентрация, например, пестицидов в жировых тканях хищных животных в 10 — 1000 раз превосходит таковую у травоядных. По этой причине в современности хищные животные, как правило, живут меньше, чем сходные с ними по размерам травоядные.

Для защиты организма от природных токсинов в процессе эволюции у позвоночных развилась достаточно эффективная система химической детоксикации чужеродных соединений, не представляющих пищевой ценности — ксенобиотиков (от греч. ξένος — чуждый и βίος — жизнь). В наибольшей степени комплексы ферментов этой системы, которая содержит оксидазы, монооксигеназы, пероксидазы, гидролазы, трансферазы и др., сосредоточены в клетках печени. Эти комплексы представлены также в других органах и тканях, но главную нагрузку все же несёт печень. Это связано с тем, что все вещества, которые всасываются в пищеварительном тракте, сначала поступают в печень и лишь потом разносятся кровотоком по всему организму. Основная функция системы метаболизма ксенобиотиков состоит в модификации молекулы «бесполезного» с точки зрения пищевой ценности, а порой и токсичного вещества, до такой степени, чтобы это вещество могло быть выведено из организма естественным путём с минимальными затратами энергии.

Эта система функционирует у позвоночных уже сотни миллионов лет и достаточно эффективно нейтрализует многие ксенобиотики, с которыми она сталкивалась в процессе эволюции. К таким веществам можно отнести две из трёх рассматриваемых групп токсинов — МКТ и ПАУ. Все животные



постоянно сталкивались с этими веществами в процессе эволюции и они — «старые знакомые» для системы метаболизма ксенобиотиков печени теплокровных, но когда в организм попадают ксенобиотики, с которыми она до сих не сталкивалась, например СОЗ, она может дать сбой. Также данная система обладает конечной ёмкостью по обезвреживанию токсичных ксенобиотиков, в том числе и МКТ. Она не может обезвредить количество ксенобиотиков, превышающее её «производственные мощности». Именно производительность системы метаболизма ксенобиотиков определяет величины значений ПДК, МДУ и т. д., принятые для вредных веществ. Функционирование данной системы довольно затратно с точки зрения энергетики организма, поэтому применение токсичных кормов напрямую приводит не только к нарушению работы разных систем организма, но и к избыточным энергетическим затратам для нейтрализации токсинов в целом и, как следствие — к снижению продуктивности и экономическим потерям.

Мы живём в настоящее время в очень опасной окружающей среде. В доисторические времена дикие растения тоже поражались микромицетами и животные подвергались действию микотоксинов. На поверхности растений также осаждались частицы пыли, содержащие ПАУ, которые могли образоваться во время извержения вулканов или в результате лесного или степного пожара. И естественный отбор позволил животным приспособиться к этой токсической нагрузке. В естественной среде травоядные за счёт хорошего обоняния легко определяют растения, зараженные сверх меры микромицетами и избегают их поедания. Поэтому токсическая нагрузка на животный мир со стороны кормов в те времена

была минимальна. И представители животного мира к этой нагрузке смогли приспособиться за счёт адекватного развития системы метаболизма ксенобиотиков печени. С развитием цивилизации ситуация изменилась кардинальным образом.

Развитие земледелия и переход на сельскохозяйственные монокультуры привёл к значительному возрастанию токсической нагрузки на продукты растительного происхождения со стороны МКТ. Развитие молочного и мясного животноводства привело к необходимости заготавливать корма для животных для их прокорма в холодное время года. Итог — дополнительное увеличение нагрузки со стороны «складских» МКТ.

Промышленная революция, начиная с XVIII века, привела не только к замене ручного труда машинами но и к интенсивному использованию пара и каменного угля, а несколько позднее — нефти и нефтепродуктов. Все эти изменения наряду с развитием транспорта, чёрной металлургии, химической и нефтехимической промышленности привели к параллельному возрастанию загрязнения окружающей среды ещё и ПАУ. Здесь уместно вспомнить знаменитый «лондонский смог», «Ржавый пояс» США и старую советскую песню со словами «За фабричной заставой, где закаты в дыму...». Итог — дополнительное увеличение нагрузки со стороны ПАУ.

И вишенкой на этом торте, содержащем токсины, стало изобретение и широкое применение СОЗ в промышленности и сельском хозяйстве, начиная со второй трети XX века. И, если система метаболизма ксенобиотиков своих «старых знакомых» — МКТ и ПАУ, несмотря на возрастание их концентраций в корме, всё ещё могла достаточно эффективно перерабатывать,

то с появлением в кормах СОЗ ситуация в корне изменилась. Это можно сравнить с подачей в деревообрабатывающий станок вместо деревянной заготовки то куска теста, то металлического предмета. А когда в такой станок по очереди или одновременно подавать и тесто и дерево и металл, такой станок долго не протянет. Что мы и наблюдаем в настоящее время. Выход один — удаление из заготовок для станка «теста» и «металла» и снижение размера обрабатываемой детали для станка до оптимального размера. Поэтому крайне необходимо использование эффективных средств для защиты животных от вредного влияния токсинов, содержащихся в кормах, в современном животноводстве. В настоящее время для этих целей чаще всего используют кормовые адсорбенты.

Для оценки эффективности кормовых адсорбентов прежде всего необходимо выбрать адекватную биологическую модель и работать с реальными кормами, которыми располагает животноводческое хозяйство. Наиболее удобную модель в этом плане представляет собой молочный скот, так как коровы даже при качественном содержании и полноценном уходе весьма мобильно отзываются на качество кормов и наглядно демонстрируют это с помощью такого важного показателя качества молока, как концентрация соматических клеток в молоке (КСК). Если в других отраслях животноводства, в птицеводстве и свиноводстве о качестве и эффективности кормовых адсорбентов можно судить только по сохранности молодняка и одному интегральному показателю — удельному привесу на единицу корма, что занимает не так уж мало времени, то молочные коровы наряду с этим показателем, применимым для молодняка, предоставляют дополнительно ещё два показателя, продуктивность (суточный удой) и ещё

более гибкий показатель — КСК. Известно, что КСК существенно и достаточно быстро возрастает при применении токсичных кормов. Вероятнее всего, это связано с отрицательным влиянием токсических компонентов кормов на иммунную систему животных, функция которой может подавляться как представителями МКТ, так и ПАУ, и СОЗ. При применении эффективных адсорбентов КСК достаточно быстро приходит в норму. По нашим данным продуктивность восстанавливается несколько медленнее.

В рамках такой модели «идеальный» адсорбент, который может быть подобран только эмпирическим путём, должен быть способным к связыванию достаточных количеств токсинов, особенно неполярных, в желудочно-кишечном тракте. Поэтому очень важна высокая ёмкость адсорбента и прочность связывания сорбата в водной среде. Эффективным с практической точки зрения в молочном стаде можно считать адсорбент (или комбинацию адсорбентов, один из которых обязательно должен быть неполярным), который при использовании наличных кормов и применяемых дозировок, способен поддерживать КСК на «здоровом» уровне 80,000 — 120,000 клет/мл в течение длительного времени, и применение которого экономически оправдано.

Для оценки эффективности предполагаемого кормового адсорбента для начала целесообразно рассмотреть модельную ситуацию с влиянием токсинов из корма на продуктивность и качество молока в стаде лактирующих первотёлок. В это стадо (n = 400) входят коровы со сроком лактации от 30 до 250 дней после первого отёла. Животные получают основной рацион, содержащий токсины (МКТ, ПАУ и СОЗ) в концентрациях,

характерных для данного региона и данного конкретного хозяйства. Концентрация токсинов в корме на всём протяжении этого мысленного эксперимента может рассматриваться в качестве константы. Оценка проводится по 4 основным параметрам:

1. Суммарная концентрация токсинов в сыворотке крови, которая отражает их концентрацию в жировой ткани.
2. Активность, которая характеризует общее состояние физиологических систем организма. Она может отражаться в продуктивности (удоях), уровне иммунного статуса, эффективности зачатия, полноценном вынашивании и т. д.
3. Концентрация токсинов в молоке, что позволяет оценивать уровень накопления токсинов в жировой ткани и степень безопасности использования молока в качестве продукта питания для человека.
4. Концентрация соматических клеток. Этот показатель отражает статус иммунной системы, прямо связан со степенью обсеменённости молока микроорганизмами и количественно описывает качество, сортность и сыропригодность молока.

Результаты подобного эксперимента представлены ниже.

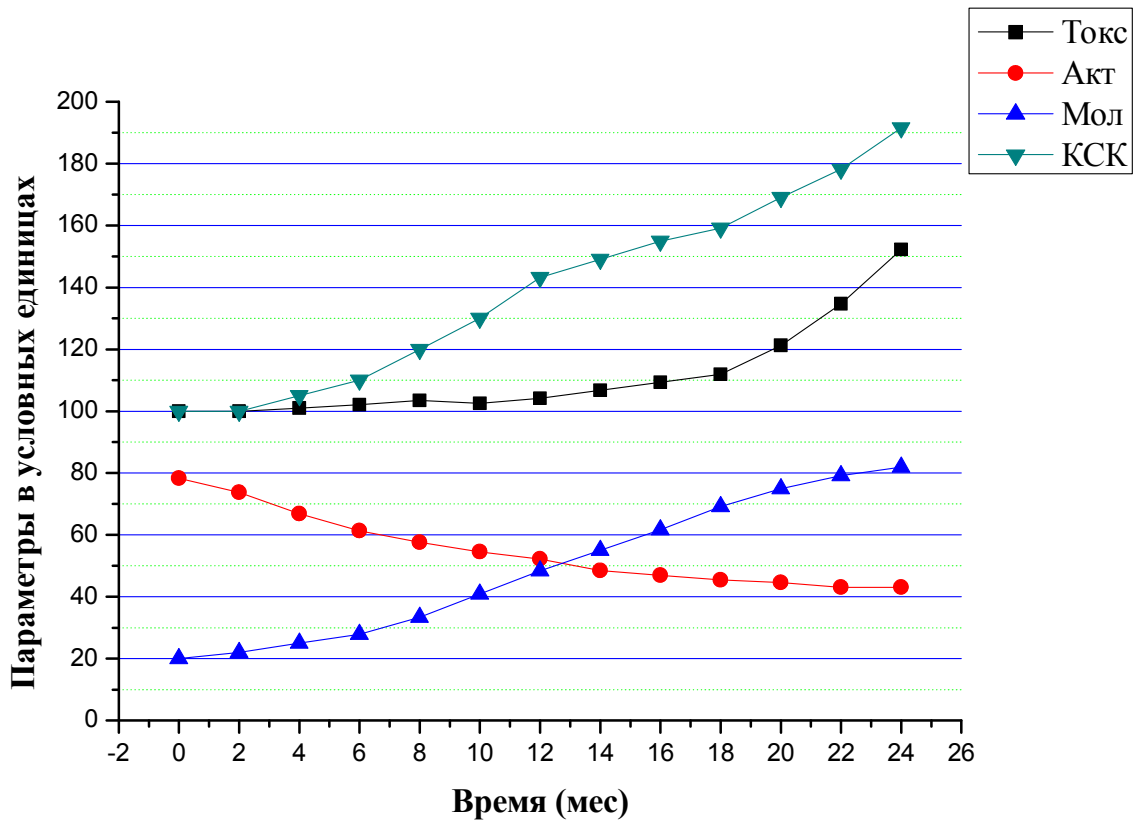


Рисунок 2. Влияние токсинов из корма на физиологическое состояние лактирующих коров.

На графике представлено развитие событий в стаде двухлетних коров после первых родов и в процессе первой и второй лактаций. Корма содержат «привычный» набор токсинов (МКТ, ПАУ, СОЗ). В период выращивания тёлочек и первой беременности они уже накопили в жировой ткани некоторое количество жирорастворимых токсинов (**Токс**), которые с началом лактации начинают переноситься в молоко (**Мол**). В течение рассматриваемого периода (24 мес) коровы накапливают всё больше токсинов в жировой ткани и процент их переноса в молоко увеличивается. Параллельно с

увеличением токсической нагрузки на организм начинает снижаться «активность» (**Акт**), параметр, который отражает совокупные представления о продуктивности и физиологическом состоянии организма в целом. Наряду с этим можно наблюдать снижение иммунной функции под влиянием накапливающихся жирорастворимых токсинов и, как следствие, повышение уровня соматических клеток в молоке (**КСК**).

Повышения общего уровня интоксикации приводит к угнетению иммунной системы, развитию рецидивирующих маститов, снижению продуктивности и качества молока. Это, как следствие, приводит к вынужденной выбраковке животных. При этом следует учитывать, что каждая вынужденная замена коровы приносит хозяйству ощутимые финансовые потери. В результате, в настоящее время в молочных хозяйствах России среднее количество лактаций на одну корову составляет всего 2,5. Поскольку уровень загрязнения окружающей среды постоянно возрастает, то, если не принимать соответствующие меры, вероятно, этот показатель будет снижаться и в дальнейшем.

В разделах, посвящённых свойствам адсорбентов, мы будем обсуждать, как может измениться эта картина при применении действительно эффективных адсорбентов.

**«Эффективных» не на бумаге рекламного проспекта,  
а на практике.**

Со свойствами упомянутых основных типов токсинов (МКТ, ПАУ и СОЗ) в кормах для животных и кормовых адсорбентов для их нейтрализации можно ознакомиться в

соответствующих разделах нашего сайта.

## Рекомендуемая литература

1. Beek, B. Bioaccumulation: New aspects and developments. In Handbook of Environmental Chemistry; Hutzinger, O., Ed.; Springer: New York, NY, USA, 1986; Volume 2, p. 298.
2. Rychen, G.; Jurjanz, S.; Fournier, A. Exposure of ruminants to persistent organic pollutants and potential of decontamination. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2014**, *21*, 6440–6447.
3. Rychen, G.; Jurjanz, S.; Toussaint, H.; Feidt, C. Dairy ruminant exposure to persistent organic pollutants and excretion to milk. *Animal* **2008**, *2*, 312–323.
4. Schatzmayr, G.; Streit, E. Global occurrence of mycotoxins in the food and feed chain: Facts and figures. *World Mycotoxin J.* **2013**, *6*, 213–222.
5. Streit, E.; Schatzmayr, G.; Tassis, P.; Tzika, E.; Marin, D.; Taranu, I.; Oswald, I.P. Current situation of mycotoxin contamination and Co-occurrence in animal feed—Focus on Europe. *Toxins* **2012**, *4*, 788–809.
6. Streit, E.; Schwab, C.; Sulyok, M.; Naehrer, K.; Krska, R.; Schatzmayr, G. Multi-mycotoxin screening reveals the occurrence of 139 different secondary metabolites in feed and feed ingredients. *Toxins* **2013**, *5*, 504–523.
7. Nichea, M.; Palacios, S.; Chiacchiera, S.; Sulyok, M.; Krska, R.; Chulze, S.; Ramirez, M. Presence of multiple mycotoxins and other fungal metabolites in native grasses from a Wetland ecosystem in Argentina intended for grazing cattle. *Toxins* **2015**, *7*, 3309–3329
8. T. Otani, M. Kuwahara, R. Uegaki, and N. Seike. 1. Major route of



contamination of rice plants by dioxins. NIAES Annual Report 2003.

<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/annual/r2003/html/no04.html>

9. Weber, R. et al. \ \ Reviewing the relevance of dioxin and PCB sources for food from animal origin and the need for their inventory, control and management \ \ Environ. Sci. Eur., 2018, 30, 42-84.

**А.И.Сотниченко, В.В.Оханов**

**01.01.2020**

**Москва**