

Кормовые адсорбенты

Широкое распространение в природных эпитопах микроскопических плесневых грибов приводит к заражению продукции земледелия продуктами их жизнедеятельности — **микотоксинами** (МКТ). Ежегодные потери производителей сельхозпродукции во всём мире из-за этих веществ составляют многие сотни миллионов и миллиарды долларов. Порой потери составляют до 30% урожая, а использование кормов, содержащих МКТ приводит к закономерному снижению эффективности мясного, яичного и молочного животноводства.

Всё это вызывает соответствующие меры по сохранению полученного урожая и повышению качества животноводческой продукции.

Европейские чиновники после продолжительных дебатов были вынуждены принять постановления Европейской комиссии № 1831/2003 от 22.09.2003 г. и № 386/2009 от 12.05.2009. Этими постановлениями была введена новая функциональная группа кормовых добавок для борьбы с вредными воздействиями микотоксинов со следующей формулировкой: *...вещества для снижения загрязнения кормов микотоксинами: «Вещества, которые могут подавлять или уменьшать абсорбцию, способствовать экскреции микотоксинов или модифицировать их механизм действия»...*

Этим же постановлением были выделены две основные категории кормовых добавок, уменьшающих токсическое действие микотоксинов:

1. Адсорбирующие агенты.

«Вещества, которые включаются в корм и снижают биодоступность микотоксинов путём адсорбции и выведения из организма через желудочно-кишечный тракт».

2. Биотрансформирующие агенты.

«Вещества, которые позволяют проводить биотрансформацию микотоксинов в корме или в организме животных с получением нетоксичных или малотоксичных метаболитов, менее вредных, чем исходные микотоксины».

Поскольку биотрансформирующие агенты до сих пор имеют ограниченное практическое применение, а наш продукт — кормовая добавка [«Алвисорб»[®]](#) представляет собой типичный адсорбент, то далее речь пойдёт только об адсорбентах для микотоксинов.

В соответствии с современной классификацией, принятой в ЕС, кормовые адсорбенты для животноводства делят на шесть основных групп:

1. Алюмосиликаты.
2. Активированные угли.
3. Стенки дрожжевых клеток.
4. Микронизированные волокна.
5. Бактерии.
6. Полимеры.

Основные физические, химические и биологические свойства адсорбентов, принадлежащих к этим группам достаточно исчерпывающе описаны в литературных обзорах, а также в рекламной продукции производителей. Поэтому мы отсылаем заинтересованных читателей к этим источникам.

Из литературы следует, что какие-то адсорбенты проявляют активность в отношении определённых МКТ, а в отношении других — не проявляют. В других источниках говорится о том, что некоторые адсорбенты, независимо от заявлений производителей, на практике (*in vivo*) проявляют нулевую активность в отношении заявленных МКТ. Отмечают также, что до сих пор не существует общепризнанной методики для оценки сорбционной ёмкости адсорбентов МКТ. Более того, для оценки сорбционной ёмкости существует несколько методик, которые имитируют взаимоотношения адсорбент/сорбат в желудочно-кишечном тракте с изменением значения рН с «желудочного» (2-3) на «кишечный» (7-8). В этих методиках сорбционная ёмкость порой оценивается только по разнице сорбции при разных значениях рН безотносительно величины соотношения адсорбент/сорбат. Представляется, что достоверная методика должна позволять определять сорбционную ёмкость в разных модельных системах в реальных единицах, т.е. в мг/г или в мкмоль/г адсорбента при разных значениях рН. Но наиболее значимыми представляются

результаты испытаний адсорбентов в условиях *in vivo* на живом поголовье, как в моделируемых условиях с применением наиболее значимых из обнаруженных токсинов, так и в реальном животноводческом комплексе с реально используемыми кормами, загрязнёнными МКТ. В таких экспериментах можно использовать разные адсорбенты в одинаковых условиях эксперимента и выбрать наиболее эффективный из них или некую их комбинацию.

Недавно Анна Соколова провела анализ отечественного рынка адсорбентов для животных и отметила, что по состоянию на 15.01.2015 г. из почти 80 зарегистрированных в Россельхознадзоре адсорбентов микотоксинов, на отечественные препараты приходится только 18 из них. Там же было отмечено, что текущий объем отечественного рынка адсорбентов МКТ составляет менее 10 тыс. т в год. При этом потенциальный объем рынка оценивается специалистами на уровне 45-50 тыс. т. Это свидетельствует о том, что пока не все специалисты в сфере производства животноводческой продукции и кормления животных доверяют адсорбентам, либо предлагаемые адсорбенты не всегда соответствуют заявленным свойствам...

Изучение работ и обзоров по применению кормовых адсорбентов для защиты животных от токсинов из кормов позволяет заключить, что большая масса адсорбентов, которые предлагаются на рынках и используются на практике, представляют собой два основных типа. К первому из них принадлежат дешевые природные минералы, в большинстве случаев различные глины, построенные из силикатов или алюмосиликатов и их комбинаций, добываемые карьерным способом, и не требующие особых затрат на их производство. Ко второму более дорогому типу адсорбентов для МКТ относятся клеточные стенки дрожжей, которые представляют собой переработанный побочный продукт производства пива и крепких алкогольных напитков и комбинированные продукты на их основе.

Практически более 70% адсорбентов на рынке РФ представлены различными видами алюмосиликатов с теми или иными добавками и стенками дрожжевых клеток.



Рисунок 1. Амазония — миллион лет до нашей эры.

Популярность алюмосиликатов в качестве адсорбентов микотоксинов была велика с древнейших времён. Первыми их потребителями были разные животные и птицы. На иллюстрации видно, как попугаи перед утренней кормёжкой заправляются «детоксикантом» на глинистом берегу реки. Эту процедуру они выполняют уже несколько миллионов лет. Те, кто не использовал природные «адсорбенты», давно вымерли, поскольку в тропиках много микроскопических грибов, которые заражают спелые и переспелые фрукты и орехи.

В качестве примера успешного применения кормовых адсорбентов для снижения токсической нагрузки МКТ, содержащихся в кормах, можно привести афлатоксин В1 — высокотоксичный **умеренно (не)полярный** микотоксин (**Log Pow** = 1,6), продуцируемый грибами рода *Aspergillus*. Именно с ним связано начало планомерного изучения МКТ после отравления большого стада молодых индеек партией

арахисового шрота, содержащей афлатоксин В1 в значительных количествах. Афлатоксины из-за своей широкой распространенности в кормах в областях с теплым климатом, высокой токсичности и канцерогенности все эти годы, начиная с 60-х годов двадцатого века, являются наиболее пристально изучаемыми и наиболее изученными МКТ. По этой причине применение многих адсорбентов МКТ было направлено на удаление в основном афлатоксина В1 из желудочно-кишечного тракта сельскохозяйственных животных. Действительно, в многочисленных исследованиях, результаты которых обсуждаются в разных обзорах, была продемонстрирована достаточно высокая эффективность традиционных алюмосиликатных адсорбентов или адсорбентов из клеточных стенок дрожжей по уменьшению токсических эффектов этого МКТ и снижению степени переноса его основного метаболита афлатоксина М1 в молоко.

Однако, эффективность этих адсорбентов по отношению к **липофильным** МКТ, таким как **зеараленон** (ЗЕА) ($\text{Log } P_{ow} = 3,6$) или охратоксин А ($\text{Log } P_{ow} = 4,7$), была, как отмечалось, существенно ниже. ЗЕА, который входит в список «нормируемых» в ЕС МКТ, в силу своих липофильных свойств и значительного отрицательного влияния на процессы воспроизводства фермерских животных во многих исследованиях выступает в качестве эталона для оценки эффективности применения кормовых адсорбентов. Так в работе, в которой *in vitro* оценивали степень связывания ЗЕА с 27 адсорбентами нескольких типов от разных производителей, приобретенных на рынках Бельгии и Нидерландов, при трех значениях рН (2,5; 6,5; 8,0), которые имитируют значения рН в разных отделах пищеварительного тракта жвачных, при весовом соотношении токсин : адсорбент = 1 : 20000, было показано, что даже при такой высокой нагрузке по адсорбенту измеримое связывание ЗЕА (более 70%) проявляли только 7 адсорбентов из 27, в числе которых были отмечены активированный уголь и добавки, содержащие гуминовые кислоты, но не алюмосиликаты или клеточные стенки дрожжей. В другой работе по изучению эффективности адсорбентов по связыванию ЗЕА в гастро-интестинальной модели было отмечено, что единственным из применяемых

сорбентов, который мог с измеримой емкостью связывать зеараленон, был активированный уголь, но только в концентрации от 0,5 до 2%. Такие концентрации адсорбентов в корме (иногда до 5%) часто используются в исследованиях по оценке их эффективности в лаборатории (*in vitro*), но редко применяются в реальном животноводстве по экономическим причинам. Производители адсорбентов по экономическим соображениям обычно рекомендуют их применение в дозах от 0,1 до 0,2% от веса корма.

В этом плане весьма показательным является мнение некоторых специалистов, которое до сих пор является господствующим: **«Надо сказать, что метод адсорбции эффективен для удаления полярных микотоксинов (например, афлатоксинов и части фумонизинов), молекулы которых имеют заряд. Они проникают внутрь частицы адсорбента и прочно фиксируются там с помощью электростатических связей за счёт разницы в зарядах молекулы токсина и адсорбента. Неполярные токсины не имеют заряда и не могут удерживаться внутри адсорбента. А значит, их практически невозможно удалить при применении любых адсорбентов в терапевтических дозах 2 – 5 кг/т корма. Это показали научные работы независимых исследователей из разных стран. Многие врачи российских птицефабрик и свинокомплексов убедились на собственном опыте, что использование различных адсорбентов в вышеназванных количествах не даёт положительного результатов, когда в кормах присутствуют неполярные токсины».**

Это мнение с некоторыми поправками и дополнениями можно признать обоснованным. Оно подтверждается наблюдениями о том, что традиционные алюмосиликатные адсорбенты не способны защитить поголовье бройлеров от токсических эффектов хлорорганических пестицидов (**ХОП**, типичных **СОЗ**). Отсутствие в доступной научной литературе сообщений о положительных примерах применения алюмосиликатных адсорбентов или адсорбентов из клеточных стенок дрожжей для купирования симптомов широко

распространённого летнего пастбищного недуга, так называемого «ryegrass staggers» («райграссовое дрожание», или «райграссовое шатание»), которые, как известно, провоцируются лолитремами, липофильными МКТ эндофитных грибов рода *Epichloë*, могут свидетельствовать о недостаточной эффективности таких сорбентов в данном конкретном случае. Также в научной и научно-практической литературе до сих пор отсутствуют данные о примерах эффективного удаления из продуктов животноводства (яйца, мясо, молоко) липофильных МКТ, а также ПАУ и СОЗ.

Но в дополнению к общепринятому на этот счёт существует и иное мнение, которое подкрепляется теоретическими и, главное, практическими результатами.

С учётом того, что МКТ, как было установлено нами, на 45% представлены липофильными веществами, а корма для жвачных и хищных животных кроме МКТ всегда содержат высоко липофильные ПАУ и СОЗ, то в свете вышеизложенного встает насущная необходимость применения для удаления из кормов липофильных токсинов адсорбентов другого типа – [неполярных](#).

Такие адсорбенты в настоящее время представлены на рынке в основном двумя группами: 1) активированные угли и 2) холестирамин на основе пористого полистирола. Адсорбенты на основе холестирамина слишком дороги и поэтому в сельском хозяйстве не применяются, а находят применение только в «человеческой» медицине. Адсорбенты на основе активированного угля не находят широкого распространения в сельском хозяйстве из-за низкой ёмкости и необходимости вследствие этого его включения в корма в высоких дозах. Часто это представляется экономически невыгодным. Но, тем не менее, в работах по оценке сравнительной ёмкости адсорбентов *in vitro*, было отмечено, что измеримую эффективность по зеараленону (липофильному токсину), как уже упоминалось, проявил только активированный уголь, а также в меньшей степени некоторые адсорбенты, содержащие гуминовые кислоты. При изучении способности разных адсорбентов связывать *in vitro* высокотоксичный неполярный микотоксин охратоксин А ($\text{Log } P_{ow} = 4,7$) при соотношении токсин : адсорбент = 1 : 500, сходные с активированным углём и

холестираминол результаты продемонстрировали "Mico AD A-Z" (неожиданно), а также комбинированный адсорбент "Standard Q/FIS", состоящий из смеси активированного угля, бентонита, экстракта дрожжей и алюмосиликатов.

На основании этих данных можно констатировать, что адсорбенты на основе алюмосиликатов или клеточных стенок дрожжей могут достаточно эффективно использоваться против полярных и ряда умеренно (не)полярных МКТ, но мало полезны для удаления липофильных (неполярных) МКТ, ПАУ и СОЗ. Они с успехом могут применяться в птицеводстве и свиноводстве, где корма загрязняются в основном МКТ, но в молочном или мясном скотоводстве из-за дополнительного к МКТ массированного загрязнения кормов и почв неполярными токсинами (ПАУ, СОЗ) эффект от их применения оказывается ниже, что вполне ожидаемо.

Для связывания умеренно липофильных и липофильных токсинов известен ещё один тип адсорбентов, которые специально разрабатывались для адсорбции и разделения неполярных веществ в высокоэффективной жидкостной хроматографии. Речь идёт о гидрофобизированных адсорбентах на полисиликатной основе.

Такие адсорбенты последние 50 лет широко используются в препаративной и аналитической жидкостной хроматографии. В настоящее время практически все работы по анализу МКТ, ПАУ и СОЗ выполняются при использовании этих адсорбентов. Хроматографические адсорбенты получают путем обработки специально синтезированных, промытых и высушенных частиц пористого силикагеля (SiO_2) подходящего размера с нужным диаметром пор в безводной среде различными реагентами для получения ковалентной связи между силикагелем и алкильным остатком ($-\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$), обычно содержащим от 4 до 18 атомов углерода. Эти адсорбенты, называемые обращённо-фазовыми (ОФ), обладают высокой **гидрофобностью** и способны в водной среде эффективно адсорбировать любые органические соединения с $\text{Log Pow} > 0$.

Термин «обращённо-фазовый» имеет хроматографическое происхождение и относится к неполярным адсорбентам, на которых проводят разделение веществ в полярной среде (водных растворах органических растворителей). Этот термин

возник в качестве противопоставления исторически традиционным методам хроматографического разделения химических веществ на полярных неподвижных фазах в среде неполярных подвижных фаз (органических растворителей).

Из теории и практики жидкостной хроматографии следует, что прочность связывания неполярных сорбатов с такими адсорбентами прямо пропорциональна величине коэффициента распределения сорбата в системе "октанол/вода" ($\log P_{ow}$). ОФ-адсорбенты фактически представляют собой твёрдо-фазный вариант распределения органических веществ по липофильности в этой системе. В первую очередь это относится к адсорбентам, содержащим в качестве алкильного заместителя октильный остаток ($-C_8H_{17}$).

Преимущество при использовании ОФ-адсорбентов для связывания и удаления неполярных токсинов обусловлено ещё и тем, что хорошо изучен механизм их взаимодействия с сорбентом. Алюмосиликатные адсорбенты и клеточные стенки дрожжей достаточно давно применяются в практическом животноводстве, но до сих пор нет единой теории, которая могла бы объяснить механизмы связывания МКТ с их матрицами. В научной и рекламной литературе обсуждается множество механизмов взаимодействия МКТ с этими матрицами, строятся сложные геометрические модели слоистого или пространственно-кристаллического строения алюмосиликатов и геометрического соответствия размеров молекул МКТ расстоянию между слоями филлосиликатов или размеру пустот в кристаллической решетке тектосиликатов с привлечением практически всех известных науке видов межмолекулярных взаимодействий. Однако, большинство авторов этих исследований, несмотря на всю широту и остроту дискуссии, сходятся во мнении, что до сих пор не разработан единый подход к объяснению достоверных механизмов взаимодействия разных матриц такого рода с различными МКТ и правила, по которым можно было бы предсказать эффективность конкретного адсорбента по отношению к тому или иному токсину. Подавляющее большинство результатов с этими адсорбентами были получены и получаются только эмпирическим путём.

Модель гидрофобного взаимодействия растворенного

вещества с неполярной ОФ-матрицей в водной среде выглядит намного проще и опирается на единственную концепцию – минимизацию свободной энергии системы за счёт сохранения целостности структуры воды. Суть гидрофобного взаимодействия заключается в том, что неполярные вещества, которые при попадании в водное окружение не способны образовывать необходимого и достаточного количества водородных связей с молекулами воды, нарушают её структуру, и системе энергетически выгоднее с помощью броуновского движения вывести такие вещества либо на поверхность раздела фаз, либо на любую гидрофобную поверхность внутри системы и таким образом восстановить структуру воды и минимизировать энергию системы. В этой модели прочность связывания неполярных веществ с ОФ-матрицей мало зависит от размера и формы молекулы и прямо пропорциональна степени липофильности вещества, или значению $\text{Log } P_{ow}$. По этой причине данная концепция располагает возможностью достаточно точного прогнозирования. На практике это означает полную уверенность предсказания того, что любое вещество, у которого $\text{Log } P_{ow} > 0$, будет в водной среде связываться с ОФ-адсорбентом, независимо от того, обладает оно зарядом или нет. Также можно предвидеть, что микотоксины охратоксин А ($\text{Log } P_{ow} = 4,7$), лолитрем В ($\text{Log } P_{ow} = 5,8$), энниатин А1 ($\text{Log } P_{ow} = 7,4$) или боверицин С ($\text{Log } P_{ow} = 9,5$) будут в водной среде удерживаться неполярной ОФ-матрицей прочнее и более эффективно выводится из пищеварительного тракта, чем, например, афлатоксин А1 ($\text{Log } P_{ow} = 1,6$) или зеараленон ($\text{Log } P_{ow} = 3,6$), а ПАУ бенз[а]пирен ($\text{Log } P_{ow} = 6,0$) или СОЗы р,р'-ДДТ ($\text{Log } P_{ow} = 6,9$) или диоксин ($\text{Log } P_{ow} = 6,4$) – прочнее, чем ПАУ нафталин ($\text{Log } P_{ow} = 3,3$), или СОЗ эндрин ($\text{Log } P_{ow} = 3,7$).

Следует отметить, однако, что ОФ-адсорбенты на полисиликатной основе, которые успешно зарекомендовали себя в жидкостной хроматографии, не могут столь же эффективно применяться в сельском хозяйстве в качестве кормовых добавок по крайней мере по двум причинам. Первая из них – высокая цена. Они, как правило, дороже даже холестирамина. Вторая причина кроется в относительно

низкой ёмкости таких адсорбентов в водной среде. Аналогичные свойства в водной среде проявляет и активированный уголь. В отличие от гидратированных алюмосиликатных адсорбентов и клеточных стенок дрожжей, ОФ-адсорбенты в виде сухого вещества (ксерогеля) и сухой активированный уголь не способны набухать в водной среде. В силу высокой гидрофобности внешней поверхности и поверхности внутренних капилляров эти вещества плохо или вовсе не смачиваются водой, а вода из-за высокого поверхностного натяжения и маленького диаметра внутренних пор не проникает внутрь частиц адсорбента. Каждый знает, что кофе «эспрессо», приготовленный под давлением (8-9 атм), всегда крепче и имеет более насыщенный и выразительный вкус по сравнению с такой же дозой кофе, заваренной на фильтре или в турке. Аналогичным образом в хроматографии эта проблема решается с помощью подвижных фаз, содержащих в разных пропорциях воду и органические растворители, которые лучше смачивают поверхность частиц ОФ-адсорбента, а смачивание внутренних пор достигается за счёт приложения к колонке с адсорбентом внешнего давления от 10 до 400 бар (кофе «эспрессо»), которое позволяет преодолевать силы поверхностного натяжения и заполнить внутренние поры частиц подвижной фазой. Поэтому при атмосферном давлении в водной среде измеримой сорбционной ёмкостью может обладать только внешняя поверхность ОФ-адсорбентов и активированного угля, величина которой будет зависеть от размера частиц и их способности к смачиванию.

Преимущество ОФ-сорбентов состоит в том, что они позволяют в полярной (водной) среде «сортировать» химические вещества по степени **полярности**. Полярные вещества, которые хорошо растворяются в воде, слабо удерживаются в водных средах ОФ-сорбентами, но могут связываться полярными адсорбентами, в то время как неполярные вещества, мало растворимые в воде, удерживаются ОФ-сорбентами намного сильнее, порой необратимо.

Именно для того, чтобы удалять **неполярные** микотоксины и другие гидрофобные ксенобиотики (ПАУ и СОЗ) мы

предлагаем рассмотреть новую группу кормовых ОФ-адсорбентов для сельскохозяйственных и других домашних животных. Эта новая **седьмая** группа представлена синтетическими обращённо-фазовыми полисиликатами и носит общее название «Полиалкилированные полисиликатные гидрогели» (**ПАПСГ**), у которых нет проблем со смачиваемостью в водной среде. Первый представитель этой группы — кормовая добавка «**Алвисорб**»® представляет собой полиоктилированный полисиликатный гидрогель (**ПОПСГ**).

Результаты испытаний, проведенные *in vitro* и *in vivo* показали, что ПОПСГ по способности связывать и выводить неполярные МКТ, ПАУ и СОЗ значительно превосходит алюмосиликатные адсорбенты, адсорбенты из клеточных стенок дрожжей и даже активированный уголь.

Более подробно свойства кормовой добавки Алвисорб® на базе ПОПСГ описаны в соответствующем разделе нашего сайта и в представленных научных публикациях.

Рекомендуемая литература

1. Caroline Boudergue, Christine Burel, Sylviane Dragacc, et. al. \\
Review of mycotoxin-detoxifying agents used as feed additives: mode of
action, efficacy and feed/food safety \\
Scientific Report submitted to EFSA,
CFP/EFSA/FEEDAP/2009/01.
2. Адсорбенты микотоксинов достигают меньшего, чем было
обещано.
Dick Ziggers // Mycotoxin binders achieve less than promised //
([http://www.allaboutfeed.net/Process-Management/Feed-Safety/2012/10/
Mycotoxin-binders-achieve-less-than-promised-1491387W](http://www.allaboutfeed.net/Process-Management/Feed-Safety/2012/10/Mycotoxin-binders-achieve-less-than-promised-1491387W))
3. A. Kolosova and J. Stroka \\
Substances for reduction of the
contamination of feed by mycotoxins: a review \\
World Mycotoxin
Journal, August 2011; 4 (3): 225-256
4. A. Kolosova, J. Stroka, A. Breidbach, K. Kroeger, M. Ambrosio,
K. Bouten, F. Ulberth \\
Evaluation of the Effect of Mycotoxin
Binders in Animal Feed on the Analytical Performance of
Standardised Methods for the Determination of Mycotoxins in Feed

\\ JRC Scientific and Technical Reports, EUR 23997 EN — 2009
([http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC54375/
report_binders_amj_fu_ak_final.pdf](http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC54375/report_binders_amj_fu_ak_final.pdf))

5. А. Соколова \\ Обзор российского рынка адсорбентов \\ ©
SoyaNews, 2015 г.
(http://soyanews.info/news/obzor_rossiyskogo_rynka_adsorbentov.htm
1)

6. В. Лавренева \\ Препараты для вывода и биотрансформации
микотоксинов \\ Ценовик от 11.08.2018.
[https://www.tsenovik.ru/articles/korma-i-kormovye-dobavki/preparaty-
dlya-vyvoda-i-biotransformatsii-mikotoksinov/](https://www.tsenovik.ru/articles/korma-i-kormovye-dobavki/preparaty-dlya-vyvoda-i-biotransformatsii-mikotoksinov/)

7. А. Брылин \\ Микотоксикозы свиней \\ Свиноводство (2015)
№6, стр. 45-46.

8. De Mil, T.; Devreese M.; De Baere S.; *et al.* Characterization of
27 Mycotoxin Binders and the Relation with in Vitro Zearalenone
Adsorption at a Single Concentration. *Toxins* 2015, 7, 21-33.

9. Avantaggiato, G.; Havenaar, R.; Visconti, A. Evaluation of the intestinal
absorption of deoxynivalenol and nivalenol by an in vitro
gastrointestinal model, and the binding efficacy of activated carbon
and other adsorbent materials. *Food and Chemical Toxicology*
2004, 42, 817-824.

10. Avantaggiato, G.; Havenaar, R.; Visconti, A. Assessment of the
Multi-mycotoxin-Binding Efficacy of a Carbon/Aluminosilicate-
Based Product in an in Vitro Gastrointestinal Model. *J. Agric. Food
Chem.* 2007, 55, 4810–4819.

11. Kan, C.A. Factors affecting absorption of harmful substances from the
digestive tract of poultry and their level in poultry products. *World's
Poult. Sci. J.* 1994, 50 (1), 39-53. doi: 10.1079/WPS19940004

12. Guerre, P. Lolitrem B and Indole Diterpene Alkaloids Produced by
Endophytic Fungi of the Genus *Epichloe* and Their Toxic Effects in
Livestock. *Toxins* 2016, 8, 47-63. doi: 10.3390/toxins8020047

13. W. F. Jaynes and R. E. Zartman \\ Aflatoxin Toxicity Reduction in
Feed by Enhanced Binding to Surface-Modified Clay Additives \\
Toxins 2011, 3, 551-565.

14. A. Sotnichenko, E. Pantsov, D. Shinkarev and V. Okhanov \\

Hydrophobized Reversed-Phase Adsorbent for Protection of Dairy Cattle against Lipophilic Toxins from Diet \ \ Efficiency In Vitro and In Vivo. *Toxins* (2019), 11(5), 256-281.

А.И.Сотниченко, В.В.Оханов

01.01.2020

Москва