

DOI 10.25741/2413-287X-2022-07-4-181

УДК 619:618.3:636.22/.28.034

# ПРОФИЛАКТИКА ТОКСИКОЗОВ У ВЫСОКОПРОДУКТИВНОГО МОЛОЧНОГО СКОТА

**М. ЛОЗОВАНУ; Р. НЕКРАСОВ, М. ЧАБАЕВ**, доктора с.-х. наук; **А. ЗЕЛЕНЧЕНКОВА**, ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста  
**Г. ЛАПТЕВ**, д-р биол. наук, **Л. ИЛЬИНА**, канд. биол. наук, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

E-mail: nek\_roman@mail.ru

*В кратком обзоре рассмотрены подходы к решению проблемы токсикозов различной природы в молочном животноводстве. Эффективным приемом снижения негативного действия токсинов и профилактики токсикозов может служить использование кормовых добавок направленного действия. Рассмотрены основные кормовые добавки для решения проблемы.*

Ключевые слова: высокопродуктивные коровы, микотоксикозы, клостридиозы, кормовые добавки, эффективное кормление.

Известно, что высокопродуктивные животные наиболее востребованы к оптимальным условиям кормления и содержания. Вследствие направленной селекции только на молочную продуктивность у высокопродуктивных коров часто обнаруживается низкая резистентность, повышенная чувствительность к стрессам, патологическое реагирование, в том числе на незначительно меняющиеся условия содержания и кормления (В.А. Мищенко, 2008).

## ТОКСИКОЗЫ В МОЛОЧНОМ СКОТОВОДСТВЕ

Даже при условии соблюдения всех требований и элементов кормопроизводства существуют риски поступления с кормами ксенобиотиков различной этиологии, из-за которых высокопродуктивные животные страдают от гнойно-некротических поражений конечностей, поражений печени, органов пищеварения, отмечается массовое нарушение обмена веществ, послеродовые осложнения. В этой связи большое количество высокопродуктивного скота выбраковывается уже сразу после отела или в первые месяцы лактации (А.А. Евглевский и др., 2017). Попадая в организм животных, токсины различной природы, в том числе микотоксины, вызывают у них серьезные проблемы со здоровьем. Стрессы, неправильное кормление и содержание усиливают действие токсинов.

*Микотоксины* — это токсичные и/или канцерогенные соединения, образуемые различными грибами, развивающимися в благоприятных для них условиях на сельскохо-

*In a brief review, the approaches to solving the problem of toxicosis of different origin in dairy cattle breeding are considered. The use of targeted feed additives can be an effective method of reducing the negative effects of toxins and the prevention of toxicosis. The main feed additives for solving this problem are considered.*

Keywords: high-yielding cows, mycotoxicoeses, clostridiosis, feed additives, effective feeding.

зяйственных культурах, в том числе зерновых, в поле, при хранении и переработке (Cullen, Newberne, 1994; Palmgren, Lee, 1986; Moussa и соавт., 2013). Наиболее распространенные и нормируемые — афлатоксин, фумонизин, дезоксиниваленол (ДОН), зеараленон, Т-2 токсин, охратоксин. Накопление микотоксинов в пищевых продуктах и кормах представляет собой серьезную угрозу для здоровья человека и сельскохозяйственных животных, поскольку они могут вызывать развитие рака; мутагенные, желудочно-кишечные, урогенитальные, сосудистые, почечные и нервные расстройства. Некоторые микотоксины являются также иммуносупрессантами, снижающими резистентность организма к инфекционным заболеваниям. В кормах обычно одновременно присутствуют несколько микотоксинов, которые вызывают синергетические токсические эффекты — от снижения потребления корма, подавления иммунитета и ухудшения показателей до системных повреждений организма и смертности. Отдельные микотоксины представляют угрозу и для здоровья человека, поскольку их вторичные метаболиты могут обнаруживаться в молоке, мясе и другой животноводческой продукции (Kępińska-Pacelik, Biel, 2021). Сложные комбинации токсических грибковых метаболитов формируются уже в поле на вегетирующих растениях, что представляет большую опасность для животноводческих предприятий. Так, проблема распространения микотоксинов в силосе является очень острой для всех регионов нашей страны.

Созревание силоса — это многоступенчатый микробиологический и биохимический процесс, состоящий из нескольких последовательных стадий. Как показали исследования с применением современных молекулярно-генетических технологий, биохимические изменения, происходящие в хранящемся субстрате, возникают вследствие деятельности огромного разнообразия микроорганизмов, включая некультивируемые формы. Параллельно идут метаболические преобразования корма в результате действия растительных ферментов. Несоблюдение технологии закладки и хранения консервированного корма способствует росту нежелательных микроорганизмов и, как следствие, вторичному аэробному брожению, которое может возникнуть на любом из этапов хранения корма. При этом происходит бурное развитие аэробных бактерий, дрожжей и плесневых токсинопродуцирующих грибков, снижающих питательность и безопасность корма (Лаптев и соавт., 2022).

**Бактериальные токсины** не менее опасны. Они описываются в основном как две группы — экзотоксины и эндотоксины. Экзотоксины представляют собой внеклеточные структуры, которые выделяются бактериями во внешнюю среду. Эндотоксины находятся в структуре клеточной стенки и высвобождаются при разрушении бактерий. Экзотоксины наносят ущерб несколькими способами: одни могут вызывать паралич, поражая нервно-мышечную систему; другие, разрушая клетки крови, — отек и пищевое отравление, энтеротоксемию. Эндотоксины, в отличие от экзотоксинов, могут провоцировать воспаление косвенными путями, приводить к септическому шоку (Kirkan и соавт., 2020).

Токсины выделяются многими бактериями, которые безвредно живут в организме животного: *Escherichia coli*, *Campylobacter sp.*, *Shigella sp.*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus sp.*, *Clostridium sp.* и др. Отдельные виды, достигая определенной области тела или под влиянием каких-то условий, могут вызывать инфекцию (Невар, 2020). Стресс и другие факторы способствуют попаданию в кровоток эндо- и экзотоксинов, вызывая воспаления в организме животных, при этом значительно страдает репродуктивная функция, ухудшаются показатели продуктивности.

Патогенные анаэробные микроорганизмы, возбудители клостридиозов, широко распространены в природе. Основной их резервуар — почва, кроме того, они обитают в кишечнике животных и человека. Большинство клостридиозов является токсикоинфекциями. Воздействие на организм происходит за счет образования в процессе роста высокоактивных токсинов, но также имеются и другие факторы патогенности (гиалуронидаза, лецитиназа, коллагеназа, гемолизины и др.). Среди клинически значимых видов клостридий есть возбудители самостоятельных болезней: например, столбняка, ботулизма, эмкара. Однако в большинстве случаев заболевание вызывается ассоциацией видов, а также другими анаэробами и аэробами (Pimenov и соавт., 2016). Несмотря на сильно различающиеся клиниче-

ские признаки анаэробных болезней, вызванных разными видами клостридий, есть ряд особенностей, которые позволяли объединить их под общим названием клостридиозы. Это способность образовывать споры, анаэробный характер обменных процессов, образование высокоактивных экзотоксинов, обитание в кишечнике животных, а также то, что к ним очень чувствителен упитанный молодняк животных с хорошо развитой мускулатурой.

Для ликвидации или снижения заболеваемости животных анаэробными инфекциями в ветеринарии проделано много работы. Но и до настоящего времени, несмотря на наличие против большинства инфекций средств специфической профилактики, химиотерапевтических препаратов и антибиотиков, клостридиозы продолжают оставаться серьезной проблемой и наносят значительный экономический ущерб. Так, эмфизематозный карбункул, анаэробная энтеротоксемия, столбняк, брадзот встречаются у крупного рогатого скота достаточно часто, а некоторые заболевания, например злокачественный отек, еще чаще. Связано это с изменениями к подходу выращивания и содержания данного вида животных. Если раньше их содержали главным образом на пастбищах, а основой рациона были грубые корма (сено, солома, сенаж), то сейчас из-за высокой интенсификации животноводства и разведения скота высокой продуктивности преобладает беспривязное содержание в помещениях и на одинаковых рационах с высоким уровнем концентратов в течение всего года, а это нарушает обмен веществ, приводит к ацидозу и осложнению из-за различных инфекций, в том числе к клостридиозам (Kapustin, Laishevtcev, 2016). Нередко проблему клостридиозов, как и развитие микотоксикозов, связывают с несоблюдением технологии заготовки консервированных кормов, в результате чего возникает вторичное брожение в корме и размножаются протеолитические бактерии, в основном клостридии. Поскольку все вакцины против клостридиозов инактивированы, телкам требуется вводить две дозы. Однако часто на практике проводится несвоевременная вакцинация и, по наблюдениям специалистов, она не всегда успешна. Кроме того, спорообразующие клостридии устойчивы к антибиотикам широкого спектра действия, поэтому бесконтрольное их использование в животноводстве дополнительно увеличивает риск клостридиозных инфекций.

## РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ТОКСИКОЗОВ

Доказанным в последние годы является тот факт, что от воздействия естественных и природных загрязнителей страдают в большей степени жвачные животные, так как ксенобиотики оказывают сильное отрицательное воздействие в первую очередь на микрофлору преджелудков (Pavelić и соавт., 2018). Использование природных и синтетических сорбентов, а также других нейтрализующих веществ в кормлении животных возросло в последние годы в основном для защиты от микотоксинов. Однако необходимо искать и другие, в том числе комплексные, спо-

собы нейтрализации остальных ксенобиотиков. У каждого средства свои особенности, преимущества и недостатки (по Г.Ю. Лаптеву, 2022, в модификации) (таблица).

Одна из важных составляющих выбора сорбента — его специфичность, которая заключается в том, что он должен связывать молекулы микотоксинов без адсорбции питательных и биологически активных веществ, таких как витамины и минеральные вещества. Также не менее важным является такое свойство энтеросорбентов, как присутствие в их составе живых микроорганизмов, полезных бактерий, способных трансформировать ряд микотоксинов до нетоксических форм, выводимых из организма через почки. В настоящее время ни один из сорбентов не способен на 100% связывать и выводить микотоксины ДОН и Т-2. Однако модифицирование сорбентов полезными бактериями, обладающими специализированными ферментными комплексами, придает им новые свойства — трансформирование микотоксинов до безопасных соединений; усиление антимикробной активности в отношении патогенов; иммуномодулирующий и пробиотический эффекты. Функция биозащиты основывается на научно обоснованной комбинации сорбентов и деструкторов токсинов с тщательно отобранными биологически активными веществами для улучшения работы органов пищеварительной системы, восстановления функции иммунной системы у животных (Debevere и соавт., 2020).

В состав нейтрализаторов микотоксинов некоторые производители вводят бетаин, метионин и холин, обладающие выраженным гепатопротекторным действием. Органические кислоты и их соли, также входящие в состав нейтрализаторов, ингибируют развитие плесеней и активируют комплексы ферментов печени, трансформирующих ряд токсических соединений. В частности, отмечено, что применение фумаровой и янтарной кислот усиливает детоксикацию микотоксинов в печени благодаря действию оксидоредуктазной, гидролитической (эпоксидгидролазы, карбоксилэстеразы, лактоногидролазы) и трансферазной (УДФ-гликозилтрансферазы) ферментных групп.

Использование гепатопротекторов способствует восстановлению клеток печени и их свойств. Усиление протективных свойств печени, в которой происходит трансформация многих токсичных компонентов, может достигаться путем ввода в состав нейтрализаторов микотоксинов растительных экстрактов (расторопши пятнистой, чертополоха обыкновенного и др.) и выделенных из них биофлавоноидов (например, силимарина, который представляет собой группу активных молекул силибина, силидианина и силикристина).

### ТОКСИНЫ МИКРОБИАЛЬНОЙ ПРИРОДЫ, ИХ ВОЗМОЖНАЯ СОРБЦИЯ И НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ

Как известно, бактерии синтезируют ряд агрессивных ферментов, таких как протеиназы, лецитиназы, коллагеназы, гиалуронидазы, являющихся основными факторами

вирулентности патогенных бактерий, в том числе клостридий. Они колонизируют слизистую эпителия, вырабатывая разнообразные механизмы штурма и выживания в организме. Одни из токсинов, такие как *Clostridium difficile A*, обладают цитотоксичностью, другие (например,  $\alpha$ -токсин *Cl. perfringens*) — гемолитическими свойствами и способностью к некрозу, а также к инициации апоптоза, то есть гибели клеток (клаудин 3 *Cl. perfringens*). Вследствие скоординированного действия ферментов и токсинов изменяется проницаемость мембран эпителиальных клеток кишечника, происходит отшелушивание эпителия с последующим некрозом и апоптозом. Повреждения могут усиливаться при протозойных заболеваниях, дисбактериозах микробиома, присутствию в кормах микотоксинов. Это способствует проникновению патогенов и продуктов их жизнедеятельности в кровоток. Возникшая септицемия может вызывать целый ряд патологий у животных. Негативное воздействие клостридий на организм в разы усиливается при различных стрессовых ситуациях (погрешность в кормлении, отел, отрицательный энергетический баланс, метаболические нарушения у молочного скота и пр.).

Некоторые попытки сорбции из просвета ЖКТ токсинов, выделяемых клостридиями, при помощи сорбентов слабо обоснованы с научной точки зрения. Это объясняется большим размером молекул клостридиальных токсинов — 60–300 кДа, что несопоставимо с размерами пор сорбентов; по размеру и структуре токсины клостридий во многом напоминают ферменты. Для сравнения: трихотеценовые микотоксины (ДОН, Т-2), поддающиеся сорбции при помощи некоторых препаратов, имеют молекулярную массу менее 1 кДа.

В исследовании Gerlach и соавт. (2014) было изучено влияние скармливания древесного угля, сока квашеной капусты и гуминовых кислот на проявление хронического ботулизма у высокопродуктивных молочных коров. Все добавки, за исключением низких доз древесного угля (200 г на животное), приводили к значительному снижению уровней антител *C. botulinum* ABE и CD. Также наблюдалось значительное снижение содержания глифосата в моче после приема комбинации изучаемых добавок. В исследовании Skřivanová и соавт. (2005) лауриновая кислота обладала самой высокой активностью в отношении *C. perfringens* среди протестированных жирных кислот. На активность не влияло присутствие твердых частиц, и она не прекращалась при pH > 6. Таким образом, лауриновая кислота также может быть средством борьбы с клостридиальными инфекциями у сельскохозяйственных животных.

Для полной защиты от клостридиозов и их профилактики, наряду с грамотной вакцинацией, необходимо использовать кормовые добавки, нейтрализующие не только токсины, но и сами клостридии и их споры. При этом перспективным является применение в составе кормовых добавок пробиотических штаммов, отобранных в отношении биодеградации токсичных соединений. Такие бактерии, помимо

## Классификация и характеристика нейтрализаторов токсинов

| Компонент  | Характеристика   |
|--|--|
| <b>Адсорбенты</b>  |  |
| Активированный уголь   | Классический энтеросорбент (1,5–2 м <sup>2</sup> /г). Имеет пористую структуру, но из-за малого диаметра пор его свойства как сорбента достаточно ограничены. Например, он легко связывает газы, соли металлов, продукты метаболизма, лекарства, при этом практически не сорбирует крупные белки, патогенные микроорганизмы и их токсины. Обладает самой низкой связывающей способностью; возможна сорбция витаминов и микроэлементов. Низкая биосовместимость с организмом животных и птицы: нарушает всасывание жиров, белков, других питательных веществ; возможно развитие геморрагии, гипогликемии и др.  |
| Глинистые минералы: алюмосиликаты, цеолиты, монтмориллониты, бентониты | Наиболее эффективны в предотвращении афлатоксикозов, однако их эффективность низкая в отношении зеараленона, охратоксина А и трихотеценов. Низкая биосовместимость: снижают доступность нутриентов, сорбция витаминов и микроэлементов (Huwig и соавт., 2001); способны десорбировать микотоксины в кишечнике, травмировать стенки ЖКТ; существует риск загрязнения природных глин диоксинами (ядами).   |
| Вермикулит   | Слоистый минерал, получен нагреванием гидрослюда; обладает высокими катионообменными, адсорбционными свойствами, способностью поглощать эндогенные и экзогенные токсины и даже связывать споры микроскопических грибов <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Fusarium</i> .   |
| Гидрогель метилкремниевой кислоты                                      | Состоит из глобул, поры представляют собой пустые пространства (зазоры) между глобулами, диаметр пор обуславливает способность сорбировать средние по размеру молекулы, такие как мочевины, билирубин, холестерин, среднемолекулярные пептиды, токсины, аллергены (150–300 м <sup>2</sup> /г). При этом крупномолекулярные вещества (иммуноглобулины, белковые токсины, микробные клетки) связыванию не подвергаются.  |
| Гидрофобизированные полисиликатные гидрогели                           | Способны сорбировать как полярные, так и неполярные микотоксины, а также диоксиды, красители и др. Являются представителями новой группы сорбентов микотоксинов — обращенно-фазовые сорбенты на полисиликатной основе.   |
| Диоксид кремния  | Сорбирует афлатоксин и эндотоксины (более 400 м <sup>2</sup> /г). Обладает высокой сорбционной способностью благодаря уникальному механизму действия, основанному на электростатическом взаимодействии частиц диоксида кремния и частиц патогенных веществ. Образованный конгломерат выводится из организма. При этом диоксид кремния не влияет на связывание полезных питательных веществ и воды.   |
| Шунгит   | Имеет высокую сорбционную емкость. Углеродный фуллерен обладает высокой активностью и реакционной способностью, обусловленной его структурой. Он состоит из глобул (или фуллеренов) размером 10–30 нм, которые имеют луковичную структуру и способны внутри фуллеренов изменять расстояние между слоями. Такое строение определяет специфические свойства глобулы: сорбционные, каталитические, восстановительные (антиоксидантные), а также саморегенерацию. Шунгит как сильный восстановитель поглощает кислород из воды. В процессе химической реакции выделяется атомарный кислород, который, являясь сильным окислителем, окисляет сорбированные на поверхности фуллерена токсические вещества до CO <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> O, после чего освобождается поверхность шунгита для новых актов сорбции. |
| Диатомит (кизельгур, органический кремний)                             | Природный адсорбент, состоящий из кремнистых створок окаменелых древних водорослей диатомей ( <i>Diatomeae</i> , или <i>Bacillariophyta</i> ). Биологический эффект обусловлен мелкопористой структурой при диаметре пор несколько нанометров. Это позволяет препарату выступать в роли энтеросорбента.  |
| Гидролизированный лигнин   | Обладая большой развитой поверхностью и разным объемом пор, эффективно захватывает молекулы как полярных, так и неполярных микотоксинов (афлатоксины, охратоксины, T-2 токсин, фумонизин, DON и др.). Емкость поглощения составляет около 50% от показателей активированного угля.   |
| Клеточные стенки дрожжей ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> )           | Этерифицированные глюкоманнаны объединяют компоненты, выделенные из клеточных стенок дрожжей — глюканов и маннанов. Способны адсорбировать зеараленон, фумонизин и охратоксин А, а также различные патогенные бактерии, включая грамотрицательные: <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Salmonella spp.</i> , <i>Shigella spp.</i> и др. Низкая сорбционная емкость, десорбция при повышении уровня pH (Huwig и соавт., 2001). Эффективность отмечается лишь при низких концентрациях токсинов в кормах.  |
| Сухой экстракт сапропеля (донные остатки органического происхождения)  | Обладает способностью к адсорбции ряда токсических молекул, поэтому также имеет ряд перспектив в составе комплексных кормовых добавок по нейтрализации микотоксинов.   |
| Гуминовые и фульвовые кислоты  | Природные соединения, имеющие длинную молекулярную цепь. Подавляют вирусы, повышают защитные силы иммунной системы, характеризуются антибактериальной активностью, являются мощным энтеросорбентом. Покрывают слизистую кишечника защитной пленкой, не позволяя проникать в кровь токсинам и другим вредным веществам.   |
| <b>Деактиваторы</b>  |  |
| Ферменты, пробиотические штаммы и др.                                  | Биотрансформирующие агенты различных видов, в том числе микроорганизмы, которые продуцируют ферменты, обезвреживающие трихотецены (Schatzmaur и соавт., 2006; Hahn и соавт., 2015); некоторые штаммы дрожжей ( <i>T. mycotoxinivorans</i> ), нейтрализующие зеараленон и охратоксин А (Hartinger, Moll, 2011; Vekiru и соавт. 2010); очищенный фермент, который биотрансформирует фумонизины в нетоксичные метаболиты (Heinl и соавт., 2010; Hartinger, Moll, 2011). Некоторые штаммы бактерий являются биодеструкторами микотоксинов (Zada и соавт., 2021). Это направление активно развивается в нашей стране.   |



мощного антимикробного эффекта, способны оказывать многостороннее действие на организм хозяина. Высокоактивные бактерии синтезируют широкий спектр метаболитов, оказывающих протекторное действие на основные мишени клостридий. Они защищают клетки от повреждений, снижают уровень экспрессии (активности) генов апоптоза (гибели клеток) и воспаления. Тем самым действие таких штаммов приводит к профилактике токсикозов и улучшению здоровья и продуктивности сельскохозяйственных животных.

## ВЫВОДЫ

Исходя из названных выше проблем в молочном скотоводстве, наиболее естественным и рациональным приемом повышения защиты высокопродуктивных коров является профилактика токсикозов с помощью кормовых средств. Требуется поиск дополнительных стратегий по детоксикации кормов для животных, включающих биотрансформацию и биозащиту, в том числе путем скармливания необходимых комплексных кормовых добавок, направленных на обезвреживание не только микотоксинов, но и токсинов бактериальной природы.

*Работа выполнена в рамках государственного задания при финансовой поддержке фундаментальных научных исследований Минобрнауки РФ № 121052600314-1 и № 1022041400153-7-2.8.1.*

## Литература

- Мищенко, В. А. Анализ причин заболеваний высокопродуктивных коров / В. А. Мищенко // Вестник ОрелГАУ. — 2008. — № 2. — С. 20–24.
- Проблемы обеспечения здоровья высокопродуктивных коров в промышленном животноводстве и практические пути ее решения / А. Евглевский [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. — 2017. — № 4. — С. 26–29.
- Cullen, J. M. Acute hepatotoxicity of aflatoxin. In: The toxicology of aflatoxin / J. M. Cullen, P. M. Newberne. — San Diego, CA : Academic Press, Inc., 1994. — P. 3–26.
- Palmgren, M. S. Separation of micotoxin-containing sources in grain dust and determination of their mycotoxin potential / M. S. Palmgren, L. S. Lee // Environ. Health Perspect. — 1986. — № 66. — P. 105–108.
- Moussa, T. A. A. Biological control of the wheat root rot caused by *Fusarium graminearum* using some PGPR strains in Saudi Arabia / T. A. A. Moussa, O. A. Almaghribi, T. S. Abdel-Moneim // Annals of Applied Biology. — 2013. — Vol. 163. — Iss. 1. — P. 72–81.
- Кејићска-Пачелик, J. Alimentary risk of mycotoxins for humans and animals / J. Кејићска-Пачелик, W. Biel // Toxins. — 2021. — 13(11): 822. — DOI: 10.3390/toxins13110822.
- Руководство по нейтрализации токсинов / Г. Лаптев [и др.] // Ценовик. — 2022. — № 1.
- Bacterial toxins / Ş. Kirkan [et al.] // Animal health prod and hyg. — 2020. — 9(2). — P. 727–733.
- Hevar, N. Clostridium Perfringens / N. Hevar. — 2020. — DOI: 10.13140/RG.2.2.32743.78246.
- Etiology and clinico-morphological manifestation of anaerobic enterotoxaemia of young cattle / N. Pimenov [et al.] // International Journal of Research in Ayurveda & Pharmacy. — 2016. — № 7 (2). — P. 228–231.
- Kapustin, A. V. Pasteurellosis of cattle caused by Mannheimia Haemolytica / A. V. Kapustin, A. I. Laishevtcev // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. — 2016. — Т. 52. — № 4. — P. 3–12.
- Critical review on zeolite clinoptilolite safety and medical applications *in vivo* / S. K. Pavelić [et al.] // Frontiers in Pharmacology. — 2018. — Vol. 9. — Article 1350. — DOI: 10.3389/fphar.2018.01350.
- Mycotoxin detoxication of animal feed by different adsorbents / A. Huwig [et al.] // Toxicology Letters. — 2001. — 122 (2). — P. 179–188. — DOI: 10.1016/S0378-4274(01)00360-5.
- Microbiologicals for deactivating mycotoxins / G. Schatzmayr [et al.] // Mol Nutr Food Res. — 2006. — 50 (6). — P. 543–551. — DOI: 10.1002/mnfr.200500181.
- Aerobic and anaerobic *in vitro* testing of feed additives claiming to detoxify deoxynivalenol and zearalenone / I. Hahn [et al.] // Food Addit. Contam. Part A-Chem. Anal. Control Expos. Risk Assess. — 2015. — 32. — P. 922–933.
- Hartinger, D. Fumonisin elimination and prospects for detoxification by enzymatic transformation / D. Hartinger, W. Moll // World Mycotoxin Journal. — 2011. — 4 (3). — P. 271–283. — DOI: 10.3920/WMJ2011.1285.
- Cleavage of zearalenone by *Trichosporon* mycotoxinivorans to a novel nonestrogenic metabolite / E. Vekiru [et al.] // Appl. Environ. Microbiol. — 2010. — 76. — P. 2353–2359. — DOI: 10.1128/AEM.01438-09.
- Degradation of fumonisin B1 by the consecutive action of two bacterial enzymes / S. Heinl [et al.] // J Biotechnol. — 2010. — 145(2). — P. 120–129. — DOI: 10.1016/j.jbiotec.2009.11.004.
- Biological transformation of Zearalenone by some bacterial isolates associated with ruminant and food samples / S. Zada [et al.] // Toxins. — 2021. — 13 (10). — P. 712. — DOI: 10.3390/toxins13100712.
- Evaluation of the efficacy of mycotoxin modifiers and mycotoxin binders by using an *in vitro* rumen model as a first screening tool / S. Debevere [et al.] // Toxins. — 2020. — 12(6). — P. 405. — DOI: 10.3390/toxins12060405.
- Oral application of charcoal and humic acids to dairy cows influences *Clostridium botulinum* blood serum antibody level and glyphosate excretion in urine / H. Gerlach [et al.] // Journal of Clinical Toxicology. — 2014. — 4 (2). — DOI: 10.4172/2161-0495.186.
- Susceptibility of *Clostridium perfringens* to C2–C18 fatty acids / E. Skřivanová [et al.] // Lett. Appl. Microbiol. — 2005. — 41. — P. 77–81. — DOI: 10.1111/j.1472-765X.2005.01709.x. ■