

УДК 636.2.034/619:615.9

**ПРОФИЛАКТИКА И ДЕТОКСИКАЦИЯ МИКОТОКСИНОВ В КОРМАХ**

**В.Г. Косолапова<sup>1</sup>**, доктор сельскохозяйственных наук  
**М.М. Халифа<sup>1</sup>**, аспирант  
**О.Г. Мокрушина<sup>2</sup>**, кандидат сельскохозяйственных наук

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, кафедра кормления животных  
127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 54

<sup>2</sup>Кировская ЛОС – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»  
612097, Россия, Кировская область, Оричевский район, п. Юбилейный  
[valentinakosolapova@yandex.ru](mailto:valentinakosolapova@yandex.ru)

**PREVENTION AND DETOXIFICATION OF MYCOTOXINS IN FEED**

**V.G. Kosolapova<sup>1</sup>**, Doctor of Agricultural Sciences  
**M.M. Khaleefah<sup>1</sup>**, Graduate Student  
**O.G. Mokrushina<sup>2</sup>**, Candidate of Agricultural Sciences

<sup>1</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy  
127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya str., 54

<sup>2</sup>Kirov Meadow Swamp Experimental Station – branch of the Federal Williams  
Research Center of Forage Production and Agroecology  
612097, Russia, Kirov region, Orichesk district, Yubileyny village  
[valentinakosolapova@yandex.ru](mailto:valentinakosolapova@yandex.ru)

DOI: <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2021-3-88-107>

Приводится обзор опубликованных отчетов о профилактике заражения кормов микотоксинами в полевых условиях и способах детоксикации путем адсорбции или трансформации. Микотоксины — это вторичные метаболиты, присутствующие во всем мире в сельскохозяйственных товарах и продуцируемые грибами, которые вызывают токсический ответ (микотоксикоз) при попадании в организм животных. Профилактика микотоксикозов включает мероприятия до и после сбора урожая. Лучший способ снизить содержание микотоксинов в кормах — это предотвратить их образование. Однако часто этого бывает недостаточно, поэтому необходимы другие методы, такие как включение сорбирующих материалов в корм, что обеспечивает в той или иной степени селективное удаление токсинов путем адсорбции во время прохождения через желудочно-кишечный тракт. Другой надежный подход — добавление ферментов или микроорганизмов, способных выводить токсины из некоторых микотоксинов.

**Ключевые слова:** токсикология, микробиология, микотоксины, плесневые грибы, корма для животных, адсорбенты.

Through a comprehensive review of published reports on mycotoxin removal strategies, this work aims to update the understanding of the removal of mycotoxins present in the feed. Mycotoxins in feed: from prevention in the field to detoxification by adsorption or transformation. Mycotoxins are secondary metabolites present worldwide in agricultural products and produced by fungi that cause a toxic response (mycotoxicosis) when ingested by animals. Prevention of mycotoxicosis includes strategies before and after

harvesting. The best way to reduce the content of mycotoxins in the feed is to prevent the formation of mycotoxins, but it is often not enough, so other methods are needed. The most common approach in the feed industry is the inclusion of sorbing materials in the feed, which provides more or less selective removal of toxins by adsorption during passage through the gastrointestinal tract. Another reliable approach is the addition of enzymes or microorganisms that can remove toxins from some mycotoxins.

**Keywords:** toxicology, microbiology, mycotoxins, mold fungi, animal feed, adsorbents.

**Введение.** Полноценное сбалансированное кормление животных является основой для проявления генетического потенциала продуктивности и сохранения здоровья в условиях интенсивного ведения животноводства (Косолапов, Косолапова, 1999; Косолапова, 2009). Основу рациона жвачных животных составляют объемистые и концентрированные корма, которые в значительной степени подвергаются воздействиям внешней среды (Косолапов, Косолапова, 1999; Косолапов и др., 2008; Косолапов и др., 2009). Одной из проблем, вызывающих беспокойство руководителей и специалистов сельскохозяйственных предприятий, является заражение кормов микотоксинами (Лаптев, 2010; Антипов и др., 2007; Монастырский и др., 2016).

Микотоксины — это вторичные метаболиты, продуцируемые грибами, которые вызывают токсический ответ (микотоксикоз) при попадании в организм животных. Растения могут быть заражены двумя способами: грибами, растущими как патогены на растениях в поле или на хранящихся растениях (Boudergue et al., 2017), хотя некоторые микотоксины вырабатываются ограниченным числом видов, а другие могут вырабатываться относительно большим диапазоном из нескольких родов. В настоящее время имеются сведения примерно о 400 вторичных метаболитах с токсигенным потенциалом, продуцируемых более чем 100 плесневыми грибами. Примерами

хорошо известных микотоксинов являются афлатоксины, фумонизины, охратоксины, трихотецены, зеараленон и другие. По оценкам Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО), 25% сельскохозяйственных товаров в мире заражены микотоксинами, что приводит к значительным экономическим потерям (Ганнибал, 2014).

Микотоксины — это небольшие и довольно стабильные молекулы, которые чрезвычайно трудно удалить или искоренить, которые попадают в цепочку питания, сохраняя при этом свои токсические свойства. Прием пищи, загрязненной микотоксинами, может вызывать острые и долгосрочные хронические эффекты у животных, приводя к иммуносупрессивным эффектам. Прямые последствия употребления кормов для животных, зараженных микотоксинами, включают: снижение потребления корма, плохую конверсию корма, снижение прироста массы тела, повышение заболеваемости (из-за подавления иммунитета), снижение репродуктивной способности (Feng et al., 2008).

Профилактика микотоксикозов включает стратегии до и после сбора урожая. Для обеззараживания или детоксикации кормов, загрязненных микотоксинами, наиболее распространенным подходом в кормовой промышленности является включение сорбирующих материалов в корм для селективного удаления токси-

нов путем адсорбции во время прохождения через желудочно-кишечный тракт. Также эффективным подходом является добавление ферментов или микроорганизмов, способных детоксифицировать определенные микотоксины (Лаптев и др., 2014; Монастырский, 2016). Эти вещества могут подавлять или уменьшать всасывание, способствовать выведению микотоксинов или изменять их механизм действия. В зависимости от способа действия эти кормовые добавки могут функционировать, снижая биодоступность микотоксинов или разрушая их, а также трансформируя их на менее токсичные метаболиты. Благодаря всестороннему обзору опубликованных исследований о стратегиях удаления микотоксинов, как путем адсорбции, так и трансформации, настоящая работа направлена на обновление нашего понимания удаления микотоксинов и предоставление информации об устранении и детоксикации микотоксинов, присутствующих в продуктах питания и кормах. Адсорбенты — это добавки, которые определяются как «вещества, которые могут подавлять или уменьшать абсорбцию, способствовать выведению микотоксинов или изменять их режим действия» (European Commission, 2009).

**Классификация микотоксинов в кормах для животных.** Микотоксины представляют собой вторичные метаболиты с низкой молекулярной массой, продуцируемые нитчатými грибами, которые в малых количествах оказывают неблагоприятное воздействие на людей и животных. Они оказывают значительное влияние и на международную торговлю. Грибы, продуцирующие микотоксины, известны как микотоксигенные. Некоторые из них способны проду-

цировать более одного микотоксина, а некоторые микотоксины продуцируются более чем одним видом грибов. Наиболее важные группы микотоксинов, содержащихся в кормах для животных, производятся тремя родами грибов: *Aspergillus* (афлатоксины (AF), охратоксин А (OTA)), *Penicillium* (OTA) и виды *Fusarium* (трихотецены, фумонизины (FB), зеараленон (ZEN)) (Marin et al., 2013; Арутюнян и др., 2016). Они появляются в кормовой цепочке из-за грибкового заражения сельскохозяйственных культур, а также из-за использования заплесневелого зерна и кормов в качестве компонентов кормов для животных. Грибки могут вторгаться и производить микотоксины на растущих растениях до сбора урожая или вырабатывать токсины после сбора урожая, а также во время хранения и транспортировки урожая. В целом, условия окружающей среды, такие как высокие температуры, высокий уровень влажности и повреждение насекомыми, вызывают стресс и предрасполагают растения в поле к росту плесени и заражению микотоксинами (Medina et al., 2015). Более того, неправильная практика сбора урожая, неправильная сушка, обработка, упаковка и условия транспортировки способствуют увеличению риска производства микотоксинов (Bhat et al., 2010).

Экономические последствия заражения микотоксинами очень значительны, поэтому часто приходится уничтожать посевы с большим количеством микотоксинов. Наиболее подвержены заражению микотоксинами зерновые, такие как пшеница, кукуруза, ячмень, рожь и овес (Cano-Sancho et al., 2010; Rodríguez-Carrasco et al., 2013; Vidal et al., 2013). Зерновые составляют основную часть

ежедневного рациона животных и являются важными ингредиентами комбикормов для животных (Pinotti et al., 2016). Сообщается, что высокий процент образцов кормов загрязнены микотоксинами, более того, сообщается, что большинство из них загрязнено более чем одним микотоксином (Streit et al., 2012; Zachariasova et al., 2014; Kosicki et al., 2016), что у сельскохозяйственных животных проявляются симптомы хронических микотоксикозов при контакте с кормами, загрязненными токсинами ниже рекомендованных уровней (Wielogorska et al., 2016).

Для нейтрализации микотоксинов в кормах для животных были разработаны различные стратегии, в том числе профилактические меры до и после сбора урожая, такие как надлежащие методы ведения сельского хозяйства и хранения. Эти действия считаются лучшим способом борьбы с заражением микотоксинами. Однако даже применение передовых методов не может полностью избежать или устранить микотоксины в кормовой цепочке (Di Gregorio et al., 2014). Более того, использование физических и химических методов для детоксикации сельскохозяйственных товаров, зараженных микотоксинами, ограничено из-за проблем, связанных с безопасностью, возможными потерями в качестве питательных веществ в сочетании с ограниченной эффективностью и финансовыми последствиями (European Commission, 2009; Kolosova, Stroka, 2011).

**Встречаемость микотоксинов в кормах для животных.** Несмотря на усилия по борьбе с грибковым заражением, как в развивающихся, так и в развитых странах, отмечается обширное заражение микотоксинами. Недавние ис-

следования были проведены для оценки распространенности заражения микотоксинами кормов и кормового сырья во всем мире (Streit et al., 2013; Pinotti et al., 2016). На глобальном уровне от 30% до 100% образцов пищевых продуктов и кормов загрязнены микотоксинами (Pinotti et al., 2016). По данным (Streit et al., 2012), 72% исследованных образцов кормов содержали определяемые уровни микотоксинов. Кроме того, (Rodrigues, Naehrer, 2012) изучали распространенность микотоксинов в кормах и готовых кормах во всем мире в период с 2009 г. по 2010 г. Их результаты показали, что 81% из 6000 образцов дали положительный результат, по крайней мере на один микотоксин, хотя во многих случаях нормативные и рекомендуемые уровни не были превышены. Наиболее часто встречающимися микотоксинами были: дезоксиниваленол (DON) (65%), фумонизины (FB) (56%) и зеараленон (ZEN) (44%), далее следовали афлатоксины (AF) (31%) и пенициллий (OTA) (27%). Образование AF происходит в основном в злаках. Образцы были взяты из регионов с тропическим или субтропическим климатом, таких как Южная Европа, Африка, Южная и Юго-Восточная Азия. Количество афлатоксина В1 (AFB1) часто было самым высоким в кормовых смесях (Rodrigues, Naehrer, 2012). Хотя загрязнение дезоксиниваленолом (DON) наблюдалось во всем мире, более 60% положительных результатов обнаружено в образцах (пшеница, кукуруза и ячмень) из Северной Америки, Северной и Центральной Европы, Северной Азии (Rodrigues, Naehrer, 2012; Streit et al., 2012). Самая высокая частота заражения зеараленоном (ZEN) (более 30% положительных образцов) обнаружена в Се-

верной и Южной Америке, Центральной Европе, Африке, а также в Северной и Юго-Восточной Азии (Rodrigues, Naehrer, 2012). С другой стороны, загрязнение FB обнаружено в основном в кукурузе и кукурузных продуктах из Южной Америки, Южной Европы, Африки, и Юго-Восточной Азии, где FB1 являлся наиболее распространенным (Rodrigues, Naehrer, 2012).

**Профилактика и обеззараживание микотоксинов в кормах.** Существует несколько возможных источников грибковой инфекции, поэтому стратегии предотвращения заражения грибами и микотоксинами должны осуществляться на комплексном уровне по всей цепочке производства пищевых продуктов (рост растений, сбор урожая, хранение и распространение) (Jouany, 2007). Различные стратегии контроля до и после уборки урожая были подробно рассмотрены в других источниках (Kabak et al., 2006; Jouany, 2007; Awad et al., 2010). Общие практические меры включают в себя: посев более устойчивых сортов зерновых, отбор семян высокого качества, избегание высокой плотности растений, профилактику заражения насекомыми, а также подходящую обработку растительных остатков, которые часто являются первичным инокулятом микотоксигенных грибов. Известно, что такие методы обработки полей, как севооборот, обработка почвы, орошение и внесение удобрений, влияют на образование микотоксинов (Kabak et al., 2006; Awad et al., 2010).

Тщательный выбор даты сбора урожая, оборудования и процедур для минимизации повреждения урожая, удаление поврежденных культур и частей растений с высоким содержанием влаги

также снижает заражение плесенью. Во время послеуборочной обработки, хранения и распределения, важен контроль уровня влажности хранимого зерна (менее 15%), а также поддержание низких температур. Это объясняется тем, что сохранение целостности зерна имеет решающее значение для предотвращения производства микотоксинов (Kabak et al., 2006). Создание устойчивых гибридов считается многообещающей технологией, но коммерческие гибриды не всегда доступны (Abbas et al., 2009). С другой стороны, зерновые, модифицированные с помощью генной инженерии, можно использовать для ограничения риска грибковой инфекции. С коммерческой точки зрения, эта технология основана на использовании растений, устойчивых к атакам насекомых, которые косвенно вызывают снижение грибковой инфекции и заражение микотоксинами. Генетические исследования также проводятся по индукции путей детоксикации микотоксинов или ингибированию продукции микотоксинов в зерне (Duvick, 2001; Karlovsky, 2011).

Когда предотвращения не достигается на уровне поля или во время уборки урожая, могут использоваться процедуры дезактивации, к которым относятся: физическая обработка загрязненного зерна, промывка, полировка, механическая сортировка и сепарация, разделение по плотности и флотация. Однако эффективность этих методов зависит от уровня загрязнения и распределения микотоксинов по всему зерну. Кроме того, полученные результаты не определены и часто связаны с большими потерями продукта. Что касается методов химической дезактивации, то они требуют не только подходящего реакционного обо-

рудования, но и дополнительных обработок (сушка, очистка), что делает их трудоемкими и дорогостоящими (Jouany, 2007). Кроме того, различные химические вещества, включая окислители и восстановители, кислоты, основания, соли и хлорирующие вещества, были протестированы на способность разлагать микотоксины в сельскохозяйственных товарах. Лишь ограниченное количество из них эффективно без снижения пищевой ценности или вкусовых качеств корма (Kolossova, Stroka, 2011).

**Детоксифицирующие средства.** Хотя предотвращение заражения микотоксинами в поле и во время хранения является основной целью сельскохозяйственной и кормовой промышленности, нельзя полностью гарантировать отсутствие микотоксинов в рационе сельскохозяйственных животных. В связи с увеличением количества сообщений о наличии микотоксинов в кормах возрастает потребность в практических процедурах обеззараживания. В 2009 г. добавлена новая функциональная группа в категории технологических кормовых добавок. «Вещества для уменьшения загрязнения кормов микотоксинами: вещества, которые могут подавлять или уменьшать абсорбцию, способствовать выведению микотоксинов или изменять механизм их действия» (European Commission, 2009). Эти вещества известны как детоксифицирующие средства. Их добавляются в рацион животных (в основном свиней, птиц и крупного рогатого скота), чтобы уменьшить абсорбцию микотоксинов из желудочно-кишечного тракта и их распределение в кровь и органы-мишени. В зависимости от способа действия они функционируют либо путем связывания микотоксинов на своей поверхности (ад-

сорбция), либо путем разложения или преобразования их в менее токсичные метаболиты (биотрансформация). Таким образом, мы можем выделить две основные категории агентов: адсорбенты и биотрансформирующие агенты.

**Адсорбенты (АА).** Агенты, адсорбирующие микотоксины, представляют собой крупные соединения, которые связывают микотоксины, присутствующие в зараженном корме, без диссоциации в желудочно-кишечном тракте животного. Благодаря этому ограничивается их биодоступность после приема внутрь, уменьшается воздействие микотоксинов на животных. Микотоксины могут связываться с адсорбирующими агентами посредством различных типов взаимодействий, таких как гидрофобное связывание, водородные связи, электростатическое притяжение (отталкивание) и координационные связи (Аверкиева, 2013; Di Gregorio et al., 2014) Таким образом, комплекс микотоксинов и адсорбентов проходит внутри животного и выводится с фекалиями. Этот комплекс должен быть стабильным в желудочно-кишечном тракте, поэтому его устойчивость при различных значениях рН зависит от физических свойств адсорбентов (общий заряд и распределение заряда, размер пор и доступная площадь поверхности) и целевых токсинов. Физико-химические свойства (полярность, растворимость и форма) являются одним из важнейших параметров, которые необходимо оценить, чтобы предотвратить десорбцию токсина (Avantaggiato et al., 2005; Kabak et al., 2006). Адсорбирующие агенты также известны как связывающие микотоксины агенты или адсорбенты. Эти агенты можно разделить на три подгруппы: неорганические соединения, ор-

ганические или синтетические (Jard et al., 2011; Di Gregorio et al., 2014).

**Биотрансформирующие агенты (БА).** Другая стратегия – это разложение микотоксинов на нетоксичные метаболиты с помощью биотрансформирующих агентов. Биотрансформация может осуществляться ферментами, разрушающими микотоксины, или микроорганизмами, продуцирующими такие ферменты. Несколько видов микробов, включая бактерии, дрожжи и грибы, способны биотрансформировать микотоксины в менее токсичные метаболиты (Wielogorska et al., 2016). Штамм *Eubacterium* BBSH 797, выделенный из жидкостей рубца крупного рогатого скота, был одним из наиболее изученных видов, способных эффективно расщеплять дезоксиниваленол, который был выявлен после испытаний *in vitro* и *in vivo*. Кроме того, некоторые из ферментов, ответственных за характеристики биотрансформации, распознаваемые этими видами микробов, были выделены и применены непосредственно в качестве детоксифицирующих агентов (Boudergue et al., 2009). Однако применение биотрансформирующих агентов на практике ограничено из-за отсутствия информации о механизмах трансформации, токсичности продуктов биотрансформации, влиянии реакций трансформации на питательную ценность кормов и безопасность по отношению к животным (Wielogorska et al., 2016).

**Алюмосиликаты.** Алюмосиликаты — это самая распространенная группа породообразующих минералов. Основная структурная единица силикатных глинистых минералов состоит из комбинации тетраэдрических листов кремнезема и октаэдрических листов алюминия, как с

кислородными, так и с гидроксильными группами (Di Gregorio et al., 2014). Большинство исследований по облегчению микотоксикоза с помощью адсорбентов сосредоточено на алюмосиликатах. Они могут адсорбировать вещества на своей поверхности или в межслойном пространстве. Тектосиликаты включают цеолиты. Они обеспечивают большую и специфическую поверхность связывания, а также размер, форму и избирательность заряда, благодаря чему их сравнивают с молекулярными ситами (Huwig et al., 2001). Об инактивации микотоксинов адсорбентами писали многие авторы (Kong, Shin, Kim, 2014). Тем не менее большинство адсорбирующих агентов связываются только с ограниченной группой микотоксинов, при этом проявляя очень слабое связывание или совсем не связываясь с другими (Kong, Shin, Kim, 2014). Следует отметить, что глины могут адсорбировать питательные микроэлементы и оказывать негативное влияние на биодоступность минералов и микроэлементов (Kolossova, Stroka, 2011). Также необходимо учитывать риск загрязнения природных глин диоксинами и металлами (Jouany, 2007).

**Гидратированный алюмосиликат натрия-кальция (HSCAS)** HSCAS (кальциевая монтмориллонитовая глина) обычно используется в кормах для животных в качестве агентов, препятствующих слеживанию. Доказано, что HSCAS действует как энтеросорбент, который плотно и избирательно связывает афлатоксин (AF) в желудочно-кишечном тракте животных, снижая его биодоступность и связанную с этим токсичность (Phillips et al., 2008; Harper et al., 2010; Neeff et al., 2013). Имеются данные, свидетельствующие о том, что

AFs могут реагировать в нескольких местах на частицах HSCAS, особенно в межслоевой области, но также на краях и базальных поверхностях (Kolosova, Stroka, 2011). Другие механизмы сорбции афлатоксина В1 (AFB1) поверхностями HSCAS могут включать хелатирование или взаимодействие AFB1 с межслойными катионами (особенно Ca) или различными металлами краевых участков (Di Gregorio et al., 2014). HSCAS достаточно эффективен в отношении AF, но не может предотвратить токсические эффекты микотоксинов *Fusarium*, (Avantaggiato et al., 2005; Kabak et al., 2006; Phillips et al., 2008; Harper et al., 2010; Neeff et al., 2013).

#### **Бентониты (монтмориллониты).**

Бентониты — это филлосиликатные глины со слоистой кристаллической микроструктурой переменного состава. Их часто называют смектитами, потому что это преобладающая минеральная глина. Смектит включает в основном монтмориллонит. Адсорбционная эффективность бентонита зависит от содержания монтмориллонита и взаимозаменяемых катионов (Kolosova, Stroka, 2011). Монтмориллонит состоит из слоев октаэдрического алюминия и тетраэдрического кремния, координированных атомами кислорода. Большая площадь поверхности и высокая катионообменная способность смектитовой группы дают им возможность адсорбировать органические вещества проникновением как катионов, так и полярных молекул. Бентониты продемонстрировали большую эффективность в отношении адсорбции микотоксинов, особенно AF (Magnoli et al., 2011; Kong, Shin, Kim, 2014), а также других микотоксинов (ZEN, OTA и FB) в многочисленных исследованиях

in vitro и in vivo (Avantaggiato et al., 2005; Miazzo et al., 2005; Wang et al., 2012). Согласно (Deng et al., 2010), в сухих условиях молекулы AF связываются со смектитом за счет прямых ион-дипольных взаимодействий и координации между обменными катионами и карбонильными группами, тогда как во влажных условиях молекулы AF связываются со смектитом за счет водородной связи между карбонильными атомами кислорода и гидратной оболочкой. Отмечается, что бентониты не являются генотоксичными и не абсорбируются после применения в качестве кормовой добавки, следовательно, они не представляют прямого токсикологического риска для животных (EFSA, 2011).

**Цеолиты.** Структура цеолита состоит из сборки тетраэдров  $\text{SiO}_4$  и  $\text{AlO}_4$ , соединенных вместе в различных регулярных структурах через общие атомы кислорода, чтобы сформировать бесконечную трехмерную решетчатую структуру. Частичное замещение  $\text{Si}^{4+}$  на  $\text{Al}^{3+}$  приводит к избытку отрицательного заряда, который компенсируется щелочными и щелочноземельными катионами, такими как ионы натрия, кальция и калия (Huwig et al., 2001; Daković et al., 2003). Цеолиты имеют большую внутреннюю поверхность, связанную с их повышенной катионообменной емкостью и адсорбцией полярных молекул (Di Gregorio et al., 2014). Некоторые исследования показали, что природный цеолит — клиноптилолит обладает способностью адсорбировать AF и другие микотоксины (Daković et al., 2010).

**Органические адсорбенты.** Учитывая относительную неэффективность глинистых адсорбентов по отношению к микотоксинам, отличным от AF, были

предложены природные органические связующие (Jouany, 2007; Ringot et al., 2007; Mézes et al., 2010; Avantaggiato et al., 2014). Смесь неорганических и органических адсорбентов может сделать их более приспособленными к наиболее частым случаям многократного загрязнения кормов.

**Стенка дрожжевых клеток (Yeast cell wall (YCW)) *Saccharomyces cerevisiae*** встречается в составе естественных микробных популяций пищевых продуктов и используется в качестве закваски в ферментированных продуктах питания и напитках. Стенка дрожжевых клеток (YCW) в основном состоит из белков, липидов и полисахаридов, причем глюканы и маннаны являются двумя основными составляющими последней фракции. Фактически, стенка дрожжевых клеток (YCW) демонстрирует большое разнообразие доступных локусов адсорбции микотоксинов, а также различные механизмы связывания (водородные связи, ионные или гидрофобные взаимодействия) (Ringot et al., 2007). Адсорбция на поверхности клеточной стенки — это взаимодействие между токсинами и функциональными группами клеточной поверхности. YCW продемонстрировал гораздо большую сорбционную способность по более широкому спектру микотоксинов, таких как ZEN, OTA и FB (Shetty, Jespersen, 2006; Fruhauf et al., 2012; Pfohl-Leskowicz et al., 2015), включая DON. Фракция  $\beta$ -D-глюкана и стенка дрожжевых клеток (YCW) напрямую коррелирует с процессом связывания (Faucet-Marquis et al., 2014). Также маннаны (из *S. cerevisiae*) продемонстрировали свою эффективность в связывании DON при различных значениях pH, при этом скорость адсорбции сни-

жалась по мере увеличения концентрации DON (Cavret et al., 2010). Кроме того, доказано, что этерифицированные глюкоманнаны эффективны в противодействии токсическому воздействию различных микотоксинов, одновременно подвергающихся воздействию (Aravind et al., 2003; Avantaggiato et al., 2005; Mohaghegh et al., 2017).

**Молочнокислые бактерии (LAB).** Молочнокислые бактерии — это группа грамположительных, кислотоустойчивых, обычно не спорулирующих бактерий, которые имеют общие метаболические и физиологические характеристики. Эти бактерии, присутствующие в разлагающихся растениях и молочных продуктах, производят молочную кислоту, как основной конечный продукт метаболизма при ферментации углеводов. Некоторые штаммы молочнокислых бактерий (*Lactobacillus rhamnosus*) продемонстрировали способность связывать определенные соединения (например, AFB1 и ZEN) в тонком кишечнике с пептидогликанами клеточной стенки, полисахаридами и тейхоевой кислотой, предложенными в качестве решающих элементов в этом процессе. Грамположительные бактерии являются более эффективными в отношении неполярных токсинов (таких как ZEN) из-за более высокой гидрофобности клеточной поверхности (Kabak et al., 2006). На силу взаимодействия микотоксинов и молочнокислых бактерий влияет структура пептидогликана, а точнее, его аминокислотный состав (Dalié et al., 2010).

**Микронизированные волокна и биосорбенты.** Микронизированные волокна можно получить из различных растительных материалов, таких как злаки или бобовые (пшеница, ячмень, овес,

шелуха гороха). Они состоят в основном из целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Эти волокна использовались в качестве адсорбентов микотоксинов из-за благоприятной адсорбции в кишечнике и повышенной экскреции с фекалиями (Aoudia et al., 2009). В частности, микронизированные волокна пшеницы оказали положительное влияние на адсорбцию ОТА (Aoudia et al., 2009). Однако связывающая способность продуктов целлюлозы для AFB1 меньше по сравнению со значениями других неорганических адсорбентов (Kong et al., 2014). Что касается биосорбентов, то отходы красного вина, такие как дегидратированные виноградные выжимки (богатые фенольными соединениями), в опытах показали себя как отличный адсорбент для одновременного удаления нескольких микотоксинов в жидкой среде (AFB1, ZEN, ОТА и FB) (Avantaggiato et al., 2014). Кроме того, яблочные выжимки (богатые клетчаткой и пектином) ранее тестировались на свиньях в качестве адсорбента микотоксинов путем включения их в загрязненный дезоксиниваленолом корм. На основе исследований авторы предположили, что отрицательный эффект дезоксиниваленола может быть ослаблен (Gutzwiller et al., 2007).

**Активированный уголь (АС).** Активированный уголь представляет собой нерастворимый порошок, полученный путем пиролиза нескольких органических соединений с последующей его химической или физической активацией, направленной на развитие высокопористой структуры. Согласно научным исследованиям *in vitro*, активированный уголь является наиболее эффективным адсорбентом к различным микотоксинам (включая дезоксиниваленол) (Avantaggiato et al., 2005; Diaz, Smith, 2005; Sabater-Vilar et al., 2007; Mézes et al., 2010).

Расширение эффективности активированного угля в отношении некоторых микотоксинов не было подтверждено *in vivo* (Avantaggiato et al., 2005). Как правило, адсорбционные свойства активированного угля зависят от исходных материалов, площади поверхности и распределения пор по размерам (Kolossova, Stroka, 2011). Однако активированный уголь неспецифичен, поэтому основные питательные вещества также адсорбируются, особенно если их концентрация в корме намного выше, чем у микотоксинов. В исследованиях (Vekiru et al., 2007) получены результаты о том, что активированный уголь сильно адсорбирует витамины и минералы, необходимые для роста и развития. Более того, когда они были проанализированы *in vivo*, выяснилось, что компоненты пищевого матрикса могут конкурировать или ингибировать, взаимодействуя с микотоксином (Wielogorska et al., 2016). Следует отметить, что органические адсорбенты, особенно волокна зерновых или бобовых культур, а также мякоть и кожура фруктов, могут содержать грибковые загрязнения, поэтому их необходимо проанализировать перед использованием, чтобы исключить присутствие микотоксинов.

**Органоалюмосиликаты, или модифицированные глины.** У животных алюмосиликаты, по-видимому, избирательны в их «хемосорбции» АФ с незначительным или нулевым положительным эффектом против ZEN, ОТА и FB. Исследования *in vitro* подтвердили эффективность связывания модифицированного монтмориллонита и клиноптилолита против ZEN и ОТА (Daković et al., 2003;

Papaioannou et al., 2005; Jiang et al., 2012). Более того, другие авторы показали, что органически модифицированные глины более эффективны, чем природные глины по отношению к FB (Döll et al., 2005; Daković et al., 2010; Baglieri et al., 2013). В частности, (Baglieri et al., 2013) пришли к выводу, что добавление модифицированных глин (2%) к зараженной кукурузе позволило снизить более чем на 70% количество FB1, высвобождаемого в растворе. Также (Feng et al., 2008) провели исследование об адсорбции ZEN модифицированным монтмориллонитовым нанокомпозитом. Этот материал продемонстрировал способность связывать ZEN в водных растворах с небольшой неспецифической адсорбцией обычных питательных веществ, таких как витамины. Более того, он показал очень низкую скорость десорбции и более высокую адсорбционную способность ZEN, по сравнению с немодифицированным монтмориллонитовым нанокомпозитом. Наносимый размер частиц и гидрофобные свойства модифицированного монтмориллонитового нанокомпозита ответственны за специфическую адсорбцию (Feng et al., 2008).

**Полимеры.** В опытах выявлено, что полимеры, такие как холестирамин

(cholestyramine), дивинилбензол-стирол и поливинилпирролидон (divinylbenzene-styrene and polyvinylpyrrolidone), связывают микотоксины (Avantaggiato et al., 2005; Jouany, 2007; Mézes et al., 2010; Jard et al., 2011).

Холестирамин представляет собой нерастворимую обменную смолу четвертичного аммония, которая прочно связывает различные анионные соединения и может слабо адсорбировать нейтральные или катионные соединения за счет неспецифического связывания. По данным *in vitro*, это соединение оказалось эффективным адсорбентом для ОТА, FB и ZEN (Döll et al., 2004; Avantaggiato et al., 2005). Его эффективность (включение в корм до 2%) подтверждена моделями GI (ZEN) и экспериментами *in vivo* (FB) (Avantaggiato et al., 2005; Kolosova, Stroka, 2011). Кроме того, холестирамин снижает уровень дезоксинаваленола в буфере (pH 7) например, на 60% (Cavret et al., 2010), в то время как только 5% ДОН может адсорбироваться холестирамином в динамическом пищеварительном тракте (Avantaggiato et al., 2005). Однако высокая стоимость этих полимеров является ограничивающим фактором для их практического применения.

## Литература

1. Аверкиева О. Инактиватор для борьбы с трихотеценовыми токсинами / О. Аверкиева // Комбикорма. – 2013. – № 9. – С. 103–104.
2. Арутюнян Т.А. Оценка генотоксических эффектов группы микотоксинов *in vivo* методом ДНК-комет / Т.А. Арутюнян, Р.М. Арутюнян, Г.Г. Оганесян, А.Ф. Карапетян // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2016. – № 2. – С. 63–66.
3. Ганнибал Ф.Б. Альтернативы зерна – современный взгляд на проблему / Ф.Б. Ганнибал // Защита и карантин растений. – 2014. – № 6. – С. 11–15.
4. Косолапов В.М. Полноценное питание высокопродуктивных коров / В.М. Косолапов, В.Г. Косолапова // Комбикорма и балансирующие добавки в кормлении животных : научные труды ВИЖ. – Дубровицы, 1999. – С. 41–42.

5. Косолапов В.М. Кормление высокопродуктивных коров / В.М. Косолапов, В.Г. Косолапова // Современные проблемы и перспективы природопользования на торфяных почвах. К 80-летию Кировской лугоболотной опытной станции : сб. науч. тр. – Киров, 1999. – С. 142–143.
6. Косолапова В.Г. Совершенствование черно-пестрого скота на основе улучшения кормопроизводства и оптимизации кормления в условиях Волго-Вятского региона России : автореф. дис. ... д-ра с.-х. н. – Дубровицы Московской обл., 2009. – 29 с.
7. Косолапов В.М. Повышение качества объемистых кормов / В.М. Косолапов, В.А. Бондарев, В.П. Клименко // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2008. – № 5. – С. 20–24.
8. Косолапов В.М. Эффективность новых технологий приготовления кормов из трав / В.М. Косолапов, В.А. Бондарев, В.П. Клименко // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 7. – С. 39–42.
9. Лаптев Г.Ю. Динамика накопления микотоксинов в силосе на разных этапах хранения / Г.Ю. Лаптев, Н.И. Новикова, Л.А. Ильина, Е.А. Ёылдырым, В.В. Солдатова, И.Н. Никонов, В.А. Филиппова, Е.А. Бражник, О.Н. Соколова // Сельскохозяйственная биология. – 2014. – № 6. – С. 120–123.
10. Монастырский О.А. Микотоксины – глобальная проблема безопасности продуктов питания и кормов / О.А. Монастырский // Агрехимия. – 2016. – № 6. – С. 67–71.
11. Abbas H.K. Ecology of *Aspergillus flavus*, regulation of aflatoxin production, and management strategies to reduce aflatoxin contamination of corn / H.K. Abbas, J.R. Wilkinson, R.M. Zablotowicz, C. Accinelli, C.A. Abel, H.A. Bruns, M.A. Weaver // Toxin Reviews. – 2009. – Vol. 28, № 2–3. – P. 142–153.
12. Aoudia N. Effectiveness of mycotoxin sequestration activity of micronized wheat fibres on distribution of ochratoxin A in plasma, liver and kidney of piglets fed a naturally contaminated diet / N. Aoudia, P. Callu, F. Grosjean, Y. Larondelle // Food and Chemical Toxicology. – 2009. – Vol. 47, № 7. – P. 1485–1489.
13. Aravind K.L. Efficacy of esterified glucomannan to counteract mycotoxicosis in naturally contaminated feed on performance and serum biochemical and hematological parameters in broilers / K.L. Aravind, V.S. Patil, G. Devegowda, B. Umakantha, S.P. Ganpule // Poultry Science. – 2003. – Vol. 82, № 4. – P. 571–576.
14. Avantaggiato G. Assessment of multi-mycotoxin adsorption efficacy of grape pomace / G. Avantaggiato, D. Greco, A. Damascelli, M. Solfrizzo, A. Visconti // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2014. – Vol. 62, № 2. – P. 497–507.
15. Avantaggiato G. Recent advances on the use of adsorbent materials for detoxification of *Fusarium* mycotoxins / G. Avantaggiato, M. Solfrizzo, A. Visconti // Food Additives and Contaminants. – 2005. – Vol. 22, № 4. – P. 379–388.
16. Awad W.A. Decontamination and detoxification strategies for the *Fusarium* mycotoxin deoxynivalenol in animal feed and the effectiveness of microbial biodegradation / W.A. Awad, K. Ghareeb, J. Böhm, J. Zentek // Food Additives and Contaminants. Part A – Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment. – 2010. – Vol. 27, № 4. – P. 510–520.
17. Baglieri A. Organically modified clays as binders of fumonisins in feedstocks / A. Baglieri, A. Reyneri, M. Gennari, M. Nègre // Journal of Environmental Science and Health. Part B – Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes. – 2013. – Vol. 48, № 9. – P. 776–783.
18. Bhat R. Mycotoxins in Food and Feed: Present Status and Future Concerns / R. Bhat, R.V. Rai, A.A. Karim // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. Wiley Online Library. – 2010. – Vol. 9, № 1. – P. 57–81.
19. Boudergue C. Review of mycotoxin-detoxifying agents used as feed additives: mode of action, efficacy and feed/food safety / C. Boudergue, C. Burel, S. Dragacci, M. Favrot, J. Fremy, C. Massimi, P. Prigent, P. Debongnie, L. Pussemier, H. Boudra, D. Morgavi, I. Oswald, A. Perez, G. Avantaggiato // EFSA Supporting Publications. Wiley Online Library. – 2009. – Vol. 6, № 9. – P. 22E.

20. Cano-Sancho G. Biomonitoring of fusarium spp. mycotoxins: Perspectives for an individual exposure assessment tool / G. Cano-Sancho, S. Marin, A.J. Ramos, V. Sanchis // *Food Science and Technology International*. – 2010. – Vol. 16, № 3. – P. 266–276.
21. Cavret S. Assessment of deoxynivalenol (DON) adsorbents and characterisation of their efficacy using complementary in vitro tests / S. Cavret, N. Laurent, B. Videmann, M. Mazallon, S. Lecoeur // *Food Additives and Contaminants. Part A – Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. – 2010. – Vol. 27, № 1. – P. 43–53.
22. Daković A. Adsorption of ochratoxin A on octadecyldimethyl benzyl ammonium exchanged-clinoptilolite-heulandite tuff / A. Daković, M. Tomašević-Čanović, G. Rottinghaus, V. Dondur, Z. Mašić // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. – 2003. – Vol. 30, № 1–2. – P. 157–165.
23. Daković A. Influence of natural zeolitic tuff and organozeolites surface charge on sorption of ionizable fumonisin B1 / A. Daković, M. Kragović, G.E. Rottinghaus, Ž. Sekulić, S. Milićević, S.K. Milonjić, S. Zarić // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. – 2010. – Vol. 76, № 1. – P. 272–278.
24. Dalié D.K.D. Lactic acid bacteria – Potential for control of mould growth and mycotoxins: A review / D.K.D. Dalié, A.M. Deschamps, F. Richard-Forget // *Food Control*. – 2010. – Vol. 21, № 4. – P. 370–380.
25. Deng Y. Bonding mechanisms between aflatoxin B1 and smectite / Y. Deng, A.L.B. Velázquez, F. Billes, J.B. Dixon // *Applied Clay Science*. – 2010. – Vol. 50, № 1. – P. 92–98.
26. Di Gregorio M.C. Mineral adsorbents for prevention of mycotoxins in animal feeds / M.C. Di Gregorio, D.V. De Neeff, A.V. Jager, C.H. Corassin, C.D.P.Á. Carão, R. De Albuquerque, A.C. De Azevedo, C.A.F. Oliveira // *Toxin Reviews*. Taylor & Francis. – 2014. – Vol. 33, № 3. – P. 125–135.
27. Diaz D.E. Mycotoxin sequestering agents: practical tools for the neutralisation of mycotoxins / D.E. Diaz, T.K. Smith // *The mycotoxin blue book*. Nottingham, United Kingdom: Nottingham University Press. 2005. – P. 323–339.
28. Döll S. In vitro studies on the evaluation of mycotoxin detoxifying agents for their efficacy on deoxynivalenol and zearalenone / S. Döll, S. Dänicke, H. Valenta, G. Flachowsky // *Archives of Animal Nutrition*. – 2004. – Vol. 58, № 4. – P. 311–324.
29. Döll S. The efficacy of a modified aluminosilicate as a detoxifying agent in Fusarium toxin contaminated maize containing diets for piglets / S. Döll, S. Gericke, S. Dänicke, J. Raila, K.H. Ueberschär, H. Valenta, U. Schnurrbusch, F.J. Schweigert, G. Flachowsky // *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. – 2005. – Vol. 89, № 9–10. – P. 342–358.
30. Duvick J. Prospects for reducing fumonisin contamination of Maize through genetic modification / J. Duvick // *Environmental Health Perspectives*. – 2001. – Vol. 109, № suppl. 2. – P. 337–342.
31. EFSA. Scientific Opinion on the risks for animal and public health related to the presence of Alternaria toxins in feed and food / EFSA (European Food Safety Authority) // *EFSA Journal*. – 2011. – Vol. 9, № 10. – P. 2407.
32. European Commission. Commission Regulation (EC) No 386/2009 of 12 May 2009 amending Regulation (EC) No 1831/2003 of the European Parliament and of the Council as regards the establishment of a new functional group of feed additives // *Official Journal of the European Union*. – 2009. – Vol. 118, № L118/66. – P. 1–65.
33. Faucet-Marquis V. Development of an in vitro method for the prediction of mycotoxin binding on yeast-based products: Case of aflatoxin B1, zearalenone and ochratoxin A / V. Faucet-Marquis, C. Joannis-Cassan, K. Hadjeba-Medjdoub, N. Ballet, A. Pfohl-Leszkowicz // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2014. – Vol. 98, № 17. – P. 7583–7596.
34. Feng J. In vitro adsorption of zearalenone by cetyltrimethyl ammonium bromide-modified montmorillonite nanocomposites / J. Feng, M. Shan, H. Du, X. Han, Z. Xu // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2008. – Vol. 113, № 1–3. – P. 99–105.

35. Fruhauf S. Yeast cell based feed additives: Studies on aflatoxin B1 and zearalenone / S. Fruhauf, H. Schwartz, F. Ottner, R. Krska, E. Vekiru // *Food Additives and Contaminants. Part A – Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. – 2012. – Vol. 29, № 2. – P. 217–231.
36. Gutzwiller A. Effects of Fusarium toxins on growth, humoral immune response and internal organs in weaner pigs, and the efficacy of apple pomace as an antidote / A. Gutzwiller, L. Czeglédi, P. Stoll, L. Bruckner // *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. – 2007. – Vol. 91, № 9–10. – P. 432–438.
37. Harper A.F. Assessment of a hydrated sodium calcium aluminosilicate agent and antioxidant blend for mitigation of aflatoxin-induced physiological alterations in pigs / A.F. Harper, M.J. Estienne, J.B. Meldrum, R.J. Harrell, D.E. Diaz // *Journal of Swine Health and Production*. – 2010. – Vol. 18, № 6. – P. 282–289.
38. Huwig A. Mycotoxin detoxication of animal feed by different adsorbents / A. Huwig, S. Freimund, O. Käppeli, H. Dutler // *Toxicology Letters*. – 2001. – Vol. 122, № 2. – P. 179–188.
39. Jard G. Review of mycotoxin reduction in food and feed: from prevention in the field to detoxification by adsorption or transformation / G. Jard, T. Liboz, F. Mathieu, A. Guyonvarch, A. Lebrihi // *Food Additives and Contaminants. Part A – Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. – 2011. – Vol. 28, № 11. – P. 1590–1609.
40. Jiang S.Z. Effect of purified zearalenone with or without modified montmorillonite on nutrient availability, genital organs and serum hormones in post-weaning piglets / S.Z. Jiang, Z.B. Yang, W.R. Yang, S.J. Wang, F.X. Liu, L.A. Johnston, F. Chi, Y. Wang // *Livestock Science*. – 2012. – Vol. 144, № 1–2. – P. 110–118.
41. Jouany J.P. Methods for preventing, decontaminating and minimizing the toxicity of mycotoxins in feeds / J.P. Jouany // *Animal Feed Science and Technology*. – 2007. – Vol. 137, № 3–4. – P. 342–362.
42. Kabak B. Strategies to prevent mycotoxin contamination of food and animal feed: A review / B. Kabak, A.D.W. Dobson, I. Var // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2006. – Vol. 46, № 8. – P. 593–619.
43. Karlovsky P. Biological detoxification of the mycotoxin deoxynivalenol and its use in genetically engineered crops and feed additives / P. Karlovsky // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2011. – Vol. 91, № 3. – P. 491–504.
44. Kolosova A. Substances for reduction of the contamination of feed by mycotoxins: A review / A. Kolosova, J. Stroka // *World Mycotoxin Journal*. – 2011. – Vol. 4, № 3. – P. 225–256.
45. Kong C. Evaluation of mycotoxin sequestering agents for aflatoxin and deoxynivalenol: An in vitro approach / C. Kong, S.Y. Shin, B.G. Kim // SpringerPlus. – 2014. – Vol. 3, № 1. – P. 1–4.
46. Kosicki R. Multiannual mycotoxin survey in feed materials and feedingstuffs / R. Kosicki, A. Błajet-Kosicka, J. Grajewski, M. Twaruzek // *Animal Feed Science and Technology*. – 2016. – Vol. 215. – P. 165–180.
47. Magnoli A.P. Effect of low levels of aflatoxin B1 on performance, biochemical parameters, and aflatoxin B1 in broiler liver tissues in the presence of monensin and sodium bentonite / A.P. Magnoli, M.P. Monge, R.D. Miazzo, L.R. Cavaglieri, C.E. Magnoli, C.I. Merkis, A.L. Cristofolini, A.M. Dalcerro, S.M. Chiacchiera // *Poultry Science*. – 2011. – Vol. 90, № 1. – P. 48–58.
48. Marin S. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment / S. Marin, A.J. Ramos, G. Cano-Sancho, V. Sanchis // *Food Chem. Toxicol.* – 2013. – Vol. 60. – P. 218–237.
49. Medina A. Climate change factors and *Aspergillus flavus*: effects on gene expression, growth and aflatoxin production / A. Medina, A. Rodríguez, Y. Sultan, N. Magan // *World Mycotoxin Journal*. – 2015. – Vol. 8, № 2. – P. 171–179.
50. Mézes M. Preventive and therapeutic methods against the toxic effects of mycotoxins: A review / M. Mézes, K. Balogh, K. Tóth // *Acta Veterinaria Hungarica*. – 2010. – Vol. 58, № 1. – P. 1–17.

51. Miazzo R. Efficacy of sodium bentonite as a detoxifier of broiler feed contaminated with aflatoxin and fumonisin / R. Miazzo, M.F. Peralta, C. Magnoli, M. Salvano, S. Ferrero, S.M. Chiacchiera, E.C.Q. Carvalho, C.A.R. Rosa, A. Dalcero // *Poultry Science*. – 2005. – Vol. 84, № 1. – P. 1–8.
52. Mohaghegh A. Effect of esterified glucomannan on broilers exposed to natural mycotoxin-contaminated diets / A. Mohaghegh, M. Chamani, M. Shivazad, A.A. Sadeghi, N. Afzali // *Journal of Applied Animal Research*. – 2017. – Vol. 45, № 1. – P. 285–291.
53. Neeff D.V. In vitro and in vivo efficacy of a hydrated sodium calcium aluminosilicate to bind and reduce aflatoxin residues in tissues of broiler chicks fed aflatoxin B1 / D.V. Neeff, D.R. Ledoux, G.E. Rottinghaus, A.J. Bermudez, A. Dakovic, R.A. Murarolli, C.A.F. Oliveira // *Poultry Science*. – 2013. – Vol. 92, № 1. – P. 131–137.
54. Papaioannou D. The role of natural and synthetic zeolites as feed additives on the prevention and/or the treatment of certain farm animal diseases: A review / D. Papaioannou, P.D. Katsoulos, N. Panoussis, H. Karatzias // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2005. – Vol. 84, № 1–3. – P. 161–170.
55. Pfohl-Leszkowicz A. Assessment and characterisation of yeast-based products intended to mitigate ochratoxin exposure using in vitro and in vivo models / A. Pfohl-Leszkowicz, K. Hadjeba-Medjdoub, N. Ballet, J. Schrickx, J. Fink-Gremmels // *Food Additives and Contaminants. Part A – Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. – 2015. – Vol. 32, № 4. – P. 604–616.
56. Phillips T.D. Reducing human exposure to aflatoxin through the use of clay: A review / T.D. Phillips, E. Afriyie-Gyawu, J. Williams, H. Huebner, N.A. Ankrah, D. Ofori-Adjei, P. Jolly, N. Johnson, J. Taylor, A. Marroquin-Cardona, L. Xu, L. Tang, J.S. Wang // *Food Additives and Contaminants. Part A – Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. – 2008. – Vol. 25, № 2. – P. 134–145.
57. Pinotti L. Mycotoxin contamination in the EU feed supply chain: A focus on Cereal Byproducts / L. Pinotti, M. Ottoboni, C. Giromini, V. Dell'Orto, F. Cheli // *Toxins*. – 2016. – Vol. 8, № 2. – P. 45.
58. Ringot D. In vitro biosorption of ochratoxin A on the yeast industry by-products: Comparison of isotherm models / D. Ringot, B. Lerzy, K. Chaplain, J.P. Bonhoure, E. Auclair, Y. Larondelle // *Biore-source Technology*. – 2007. – Vol. 98, № 9. – P. 1812–1821.
59. Rodrigues I. Prevalence of mycotoxins in feedstuffs and feed surveyed worldwide in 2009 and 2010 / I. Rodrigues, K. Naehrer // *Phytopathologia Mediterranea*. – 2012. – Vol. 51, № 1. – P. 175–192.
60. Rodríguez-Carrasco Y. Exposure estimates to Fusarium mycotoxins through cereals intake / Y. Rodríguez-Carrasco, M.J. Ruiz, G. Font, H. Berrada // *Chemosphere*. – 2013. – Vol. 93, № 10. – P. 2297–2303.
61. Sabater-Vilar M. In vitro assessment of adsorbents aiming to prevent deoxynivalenol and zearalenone mycotoxicoses / M. Sabater-Vilar, H. Malekinejad, M.H.J. Selman, M.A.M. Van Der Doelen, J. Fink-Gremmels // *Mycopathologia*. – 2007. – Vol. 163, № 2. – P. 81–90.
62. Shetty P.H. Saccharomyces cerevisiae and lactic acid bacteria as potential mycotoxin decontaminating agents / P.H. Shetty, L. Jespersen // *Trends in Food Science and Technology*. – 2006. – Vol. 17, № 2. – P. 48–55.
63. Streit E. Current situation of mycotoxin contamination and co-occurrence in animal feed focus on Europe / E. Streit, G. Schatzmayr, P. Tassis, E. Tzika, D. Marin, I. Taranu, C. Tabuc, A. Nicolau, I. Aprodu, O. Puel, I.P. Oswald // *Toxins. Molecular Diversity Preservation International*. – 2012. – Vol. 4, № 10. – P. 788–809.
64. Streit E. Mycotoxin occurrence in feed and feed raw materials worldwide: Long-term analysis with special focus on Europe and Asia / E. Streit, K. Naehrer, I. Rodrigues, G. Schatzmayr // *Journal of the Science of Food and Agriculture. Wiley Online Library*. – 2013. – Vol. 93, № 12. – P. 2892–2899.
65. Vekiru E. Investigation of various adsorbents for their ability to bind Aflatoxin B1 / E. Vekiru, S. Fruhauf, M. Sahin, F. Ottner, G. Schatzmayr, R. Krska // *Mycotoxin Research*. – 2007. – Vol. 23, № 1. – P. 27–33.

66. Vidal A. Determination of aflatoxins, deoxynivalenol, ochratoxin A and zearalenone in wheat and oat based bran supplements sold in the Spanish market / A. Vidal, S. Marín, A.J. Ramos, G. Cano-Sancho, V. Sanchis // *Food and Chemical Toxicology*. – 2013. – Vol. 53. – P. 133–138.
67. Wang J.P. Effects of montmorillonite clay on growth performance, nutrient digestibility, vulva size, faecal microflora, and oxidative stress in weaning gilts challenged with zearalenone / J.P. Wang, F. Chi, I.H. Kim // *Animal Feed Science and Technology*. – 2012. – Vol. 178, № 3–4. – P. 158–166.
68. Wielogorska E. A review of the efficacy of mycotoxin detoxifying agents used in feed in light of changing global environment and legislation / E. Wielogorska, S. MacDonald, C.T. Elliott // *World Mycotoxin Journal*. – 2016. – Vol. 9, № 3. – P. 419–433.
69. Zachariasova M. Occurrence of multiple mycotoxins in european feedingstuffs, assessment of dietary intake by farm animals / M. Zachariasova, Z. Dzuman, Z. Veprikova, K. Hajkova, M. Jiru, M. Vaclavikova, A. Zachariasova, M. Pospichalova, M. Florian, J. Hajslova // *Animal Feed Science and Technology*. – 2014. – Vol. 193. – P. 124–140.

## References

1. Averkieva O. Inaktivator dlya bor'by s trikhofetsenovymi toksinami [Inactivator for the fight against trichothecene toxins]. *Kombikorma [Combined fodder]*, 2013, no. 9, pp. 103–104.
2. Arutyunyan T.A., Arutyunyan R.M., Oganessian G.G., Karapetyan A.F. Otsenka genotoksicheskikh effektivov gruppy mikotoksinov in vivo metodom DNK-komet [Evaluation of the genotoxic effects of a group of mycotoxins in vivo by the DNA comet method]. *Mediko-biologicheskiye i sotsial'no-psikhologicheskiye problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh [Medical-biological and social-psychological problems of safety in emergency situations]*, 2016, no. 2, pp. 63–66.
3. Gannibal F.B. Al'ternarioz zerna – sovremennyy vzglyad na problemu [Alternaria grain disease – a modern view of the problem]. *Zashchita i karantin rasteniy [Protection and quarantine of plants]*, 2014, no. 6, pp. 11–15.
4. Kosolapov V.M., Kosolapova V.G. Polnotsennoye pitaniye vysokoproduktivnykh korov [Complete nutrition of highly productive cows]. *Kombikorma i balansiruyushchiye dobavki v kormlenii zhivotnykh: nauchnyye trudy VIZh [Compound feeds and balancing additives in animal feeding: scientific works of VIZh]*. Dubrovitsy, 1999, pp. 41–42.
5. Kosolapov V.M., Kosolapova V.G. Kormleniye vysokoproduktivnykh korov [Feeding highly productive cows]. *Sovremennyye problemy i perspektivy prirodopol'zovaniya na torfyanykh pochvakh. K 80-letiyu Kirovskoy lugobolotnoy opytной stantsii [Modern problems and prospects of nature management on peat soils. For the 80th anniversary of the Kirov Meadow Swamp Experimental Station: collection of scientific articles]*. Kirov, 1999, pp. 142–143.
6. Kosolapova V.G. Sovershenstvovaniye cherno-pestrogo skota na osnove uluchsheniya kormoproizvodstva i optimizatsii kormleniya v usloviyakh Volgo-Vyatskogo regiona Rossii [Improvement of black-and-white cattle based on the improvement of feed production and optimization of feeding in the conditions of the Volga-Vyatka region of Russia : author's abstract Dis. ... Candidate Sci. (Agr.)]. Dubrovitsy, Moscow region, 2009, 29 p.
7. Kosolapov V.M., Bondarev V.A., Klimenko V.P. Povysheniye kachestva ob'yemistykh kormov [Improving the quality of bulky feed]. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk [Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences]*, 2008, no. 5, pp. 20–24.
8. Kosolapov V.M., Bondarev V.A., Klimenko V.P. Effektivnost' novykh tekhnologiy prigotovleniya kormov iz trav [The effectiveness of new technologies for the preparation of forages from grasses]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK [Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex]*, 2009, no. 7, pp. 39–42.
9. Laptev G.Yu., Novikova N.I., Ilina L.A., Yldyrym E.A., Soldatova V.V., Nikonov I.N., Filippova V.A., Brazhnik E.A., Sokolova O.N. Dinamika nakopleniya mikotoksinov v silose na raznykh etapakh khraneniya [Dynamics of mycotoxin accumulation in silage at different storage stages].

- Sel'skokhozyaystvennaya biologiya [Agricultural biology]*, 2014, no. 6, pp. 120–123.
10. Monastyrskiy O.A. Mikotoksiny – global'naya problema bezopasnosti produktov pitaniya i kormov [Mycotoxins – a global problem of food and feed safety]. *Agrokimiya [Agrochemistry]*, 2016, no. 6, pp. 67–71.
  11. Abbas H.K., Wilkinson J.R., Zablutowicz R.M., Accinelli C., Abel C.A., Bruns H.A., Weaver M.A. Ecology of *Aspergillus flavus*, regulation of aflatoxin production, and management strategies to reduce aflatoxin contamination of corn. *Toxin Reviews*. 2009. Vol. 28, no. 2–3. P. 142–153.
  12. Aoudia N., Callu P., Grosjean F., Larondelle Y. Effectiveness of mycotoxin sequestration activity of micronized wheat fibres on distribution of ochratoxin A in plasma, liver and kidney of piglets fed a naturally contaminated diet. *Food and Chemical Toxicology*. 2009. Vol. 47, no. 7. P. 1485–1489.
  13. Aravind K.L., Patil V.S., Devegowda G., Umakantha B., Ganpule S.P. Efficacy of esterified glucomannan to counteract mycotoxicosis in naturally contaminated feed on performance and serum biochemical and hematological parameters in broilers. *Poultry Science*. 2003. Vol. 82, no. 4. P. 571–576.
  14. Avantaggiato G., Greco D., Damascelli A., Solfrizzo M., Visconti A. Assessment of multi-mycotoxin adsorption efficacy of grape pomace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014. Vol. 62, no. 2. P. 497–507.
  15. Avantaggiato G., Solfrizzo M., Visconti A. Recent advances on the use of adsorbent materials for detoxification of *Fusarium* mycotoxins. *Food Additives and Contaminants*. 2005. Vol. 22, no. 4. P. 379–388.
  16. Awad W.A., Ghareeb K., Böhm J., Zentek J. Decontamination and detoxification strategies for the *Fusarium* mycotoxin deoxynivalenol in animal feed and the effectiveness of microbial biodegradation. *Food Additives and Contaminants. Part A – Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. 2010. Vol. 27, no. 4. P. 510–520.
  17. Baglieri A., Reyneri A., Gennari M., Nègre M. Organically modified clays as binders of fumonisins in feedstocks. *Journal of Environmental Science and Health. Part B – Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*. 2013. Vol. 48, no. 9. P. 776–783.
  18. Bhat R., Rai R.V., Karim A.A. Mycotoxins in Food and Feed: Present Status and Future Concerns. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Wiley Online Library. 2010. Vol. 9, no. 1. P. 57–81.
  19. Boudergue C., Burel C., Dragacci S., Favrot M., Fremy J., Massimi C., Prigent P., Debongnie P., Pussemier L., Boudra H., Morgavi D., Oswald I., Perez A., Avantaggiato G. Review of mycotoxin-detoxifying agents used as feed additives: mode of action, efficacy and feed/food safety. *EFSA Supporting Publications*. Wiley Online Library. 2009. Vol. 6, no. 9. P. 22E.
  20. Cano-Sancho G., Marin S., Ramos A.J., Sanchis V. Biomonitoring of *Fusarium* spp. mycotoxins: Perspectives for an individual exposure assessment tool. *Food Science and Technology International*. 2010. Vol. 16, no. 3. P. 266–276.
  21. Cavret S., Laurent N., Videmann B., Mazallon M., Lecoœur S. Assessment of deoxynivalenol (DON) adsorbents and characterisation of their efficacy using complementary in vitro tests. *Food Additives and Contaminants. Part A – Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. 2010. Vol. 27, no. 1. P. 43–53.
  22. Daković A., Tomašević-Čanović M., Rottinghaus G., Dondur V., Mašić Z. Adsorption of ochratoxin A on octadecyldimethyl benzyl ammonium exchanged-clinoptilolite-heulandite tuff. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2003. Vol. 30, no. 1–2. P. 157–165.
  23. Daković A., Kragović M., Rottinghaus G.E., Sekulić Ž., Milićević S., Milonjić S.K., Zarić S. Influence of natural zeolitic tuff and organozeolites surface charge on sorption of ionizable fumonisin B1. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2010. Vol. 76, no. 1. P. 272–278.
  24. Dalić D.K.D., Deschamps A.M., Richard-Forget F. Lactic acid bacteria – Potential for control of mould growth and mycotoxins: A review. *Food Control*. 2010. Vol. 21, no. 4. P. 370–380.

25. Deng Y., Velázquez A.L.B., Billes F., Dixon J.B. Bonding mechanisms between aflatoxin B1 and smectite. *Applied Clay Science*. 2010. Vol. 50, no. 1. P. 92–98.
26. Di Gregorio M.C., De Neeff D.V., Jager A.V., Corassin C.H., Carão C.D.P.Á., De Albuquerque R., De Azevedo A.C., Oliveira C.A.F. Mineral adsorbents for prevention of mycotoxins in animal feeds. *Toxin Reviews*. Taylor & Francis. 2014. Vol. 33, no. 3. P. 125–135.
27. Diaz D.E., Smith T.K. Mycotoxin sequestering agents: practical tools for the neutralisation of mycotoxins. *The mycotoxin blue book*. Nottingham, United Kingdom: Nottingham University Press. 2005. P. 323–339.
28. Döll S., Dänicke S., Valenta H., Flachowsky G. In vitro studies on the evaluation of mycotoxin detoxifying agents for their efficacy on deoxynivalenol and zearalenone. *Archives of Animal Nutrition*. 2004. Vol. 58, no. 4. P. 311–324.
29. Döll S., Gericke S., Dänicke S., Raila J., Ueberschär K.H., Valenta H., Schnurrbusch U., Schweigert F.J., Flachowsky G. The efficacy of a modified aluminosilicate as a detoxifying agent in Fusarium toxin contaminated maize containing diets for piglets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2005. Vol. 89, no. 9–10. P. 342–358.
30. Duvick J. Prospects for reducing fumonisin contamination of Maize through genetic modification. *Environmental Health Perspectives*. 2001. Vol. 109, no. suppl. 2. P. 337–342.
31. EFSA (European Food Safety Authority). Scientific Opinion on the risks for animal and public health related to the presence of Alternaria toxins in feed and food. *EFSA Journal*. 2011. Vol. 9, no. 10. P. 2407.
32. European Commission. Commission Regulation (EC) No 386/2009 of 12 May 2009 amending Regulation (EC) No 1831/2003 of the European Parliament and of the Council as regards the establishment of a new functional group of feed additives. *Official Journal of the European Union*. 2009. Vol. 118, no. L118/66. P. 1–65.
33. Faucet-Marquis V., Joannis-Cassan C., Hadjeba-Medjdoub K., Ballet N., Pfohl-Leszkowicz A. Development of an in vitro method for the prediction of mycotoxin binding on yeast-based products: Case of aflatoxin B1, zearalenone and ochratoxin A. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2014. Vol. 98, no. 17. P. 7583–7596.
34. Feng J., Shan M., Du H., Han X., Xu Z. In vitro adsorption of zearalenone by cetyltrimethyl ammonium bromide-modified montmorillonite nanocomposites. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2008. Vol. 113, no. 1–3. P. 99–105.
35. Fruhauf S., Schwartz H., Ottner F., Krska R., Vekiru E. Yeast cell based feed additives: Studies on aflatoxin B1 and zearalenone. *Food Additives and Contaminants. Part A – Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. 2012. Vol. 29, no. 2. P. 217–231.
36. Gutzwiller A., Czeglédi L., Stoll P., Bruckner L. Effects of Fusarium toxins on growth, humoral immune response and internal organs in weaner pigs, and the efficacy of apple pomace as an antidote. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2007. Vol. 91, no. 9–10. P. 432–438.
37. Harper A.F., Estienne M.J., Meldrum J.B., Harrell R.J., Diaz D.E. Assessment of a hydrated sodium calcium aluminosilicate agent and antioxidant blend for mitigation of aflatoxin-induced physiological alterations in pigs. *Journal of Swine Health and Production*. 2010. Vol. 18, no. 6. P. 282–289.
38. Huwig A., Freimund S., Käppeli O., Dutler H. Mycotoxin detoxication of animal feed by different adsorbents. *Toxicology Letters*. 2001. Vol. 122, no. 2. P. 179–188.
39. Jard G., Liboz T., Mathieu F., Guyonvarch A., Lebrihi A. Review of mycotoxin reduction in food and feed: from prevention in the field to detoxification by adsorption or transformation. *Food Additives and Contaminants. Part A – Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. 2011. Vol. 28, no. 11. P. 1590–1609.
40. Jiang S.Z., Yang Z.B., Yang W.R., Wang S.J., Liu F.X., Johnston L.A., Chi F., Wang Y. Effect of purified zearalenone with or without modified montmorillonite on nutrient availability, genital organs and serum hormones in post-weaning piglets. *Livestock Science*. 2012. Vol. 144, no. 1–2. P. 110–118.

41. Jouany J.P. Methods for preventing, decontaminating and minimizing the toxicity of mycotoxins in feeds. *Animal Feed Science and Technology*. 2007. Vol. 137, no. 3–4. P. 342–362.
42. Kabak B., Dobson A.D.W., Var I. Strategies to prevent mycotoxin contamination of food and animal feed: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2006. Vol. 46, no. 8. P. 593–619.
43. Karlovsky P. Biological detoxification of the mycotoxin deoxynivalenol and its use in genetically engineered crops and feed additives. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2011. Vol. 91, no. 3. P. 491–504.
44. Kolosova A., Stroka J. Substances for reduction of the contamination of feed by mycotoxins: A review. *World Mycotoxin Journal*. 2011. Vol. 4, no. 3. P. 225–256.
45. Kong C., Shin S.Y., Kim B.G. Evaluation of mycotoxin sequestering agents for aflatoxin and deoxynivalenol: An in vitro approach. *SpringerPlus*. 2014. Vol. 3, no. 1. P. 1–4.
46. Kosicki R., Błajet-Kosicka A., Grajewski J., Twaruzek M. Multiannual mycotoxin survey in feed materials and feedingstuffs. *Animal Feed Science and Technology*. 2016. Vol. 215. P. 165–180.
47. Magnoli A.P., Monge M.P., Miazzi R.D., Cavaglieri L.R., Magnoli C.E., Merkis C.I., Cristofolini A.L., Dalcero A.M., Chiacchiera S.M. Effect of low levels of aflatoxin B1 on performance, biochemical parameters, and aflatoxin B1 in broiler liver tissues in the presence of monensin and sodium bentonite. *Poultry Science*. 2011. Vol. 90, no. 1. P. 48–58.
48. Marin S., Ramos A.J., Cano-Sancho G., Sanchis V. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food Chem. Toxicol.* 2013. Vol. 60. P. 218–237.
49. Medina A., Rodríguez A., Sultan Y., Magan N. Climate change factors and *Aspergillus flavus*: effects on gene expression, growth and aflatoxin production. *World Mycotoxin Journal*. 2015. Vol. 8, no. 2. P. 171–179.
50. Mézes M., Balogh K., Tóth K. Preventive and therapeutic methods against the toxic effects of mycotoxins: A review. *Acta Veterinaria Hungarica*. 2010. Vol. 58, no. 1. P. 1–17.
51. Miazzi R., Peralta M.F., Magnoli C., Salvano M., Ferrero S., Chiacchiera S.M., Carvalho E.C.Q., Rosa C.A.R., Dalcero A. Efficacy of sodium bentonite as a detoxifier of broiler feed contaminated with aflatoxin and fumonisin. *Poultry Science*. 2005. Vol. 84, no. 1. P. 1–8.
52. Mohaghegh A., Chamani M., Shivazad M., Sadeghi A.A., Afzali N. Effect of esterified glucomannan on broilers exposed to natural mycotoxin-contaminated diets. *Journal of Applied Animal Research*. 2017. Vol. 45, no. 1. P. 285–291.
53. Neeff D.V., Ledoux D.R., Rottinghaus G.E., Bermudez A.J., Dakovic A., Murarolli R.A., Oliveira C.A.F. In vitro and in vivo efficacy of a hydrated sodium calcium aluminosilicate to bind and reduce aflatoxin residues in tissues of broiler chicks fed aflatoxin B1. *Poultry Science*. 2013. Vol. 92, no. 1. P. 131–137.
54. Papaioannou D., Katsoulos P.D., Panousis N., Karatzias H. The role of natural and synthetic zeolites as feed additives on the prevention and/or the treatment of certain farm animal diseases: A review. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2005. Vol. 84, no. 1–3. P. 161–170.
55. Pfohl-Leskowicz A., Hadjeba-Medjdoub K., Ballet N., Schrickx J., Fink-Gremmels J. Assessment and characterisation of yeast-based products intended to mitigate ochratoxin exposure using in vitro and in vivo models. *Food Additives and Contaminants. Part A – Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. 2015. Vol. 32, no. 4. P. 604–616.
56. Phillips T.D., Afriyie-Gyawu E., Williams J., Huebner H., Ankrah N.A., Ofori-Adjei D., Jolly P., Johnson N., Taylor J., Marroquin-Cardona A., Xu L., Tang L., Wang J.S. Reducing human exposure to aflatoxin through the use of clay: A review. *Food Additives and Contaminants. Part A – Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. 2008. Vol. 25, no. 2. P. 134–145.
57. Pinotti L., Ottoboni M., Giromini C., Dell’Orto V., Cheli F. Mycotoxin contamination in the EU feed supply chain: A focus on Cereal Byproducts. *Toxins*. 2016. Vol. 8, no. 2. P. 45.
58. Ringot D., Lerzy B., Chaplain K., Bonhoure J.P., Auclair E., Larondelle Y. In vitro biosorption of ochratoxin A on the yeast industry by-products: Comparison of isotherm models. *Bioresource Technology*. 2007. Vol. 98, no. 9. P. 1812–1821.

59. Rodrigues I., Naehrer K. Prevalence of mycotoxins in feedstuffs and feed surveyed worldwide in 2009 and 2010. *Phytopathologia Mediterranea*. 2012. Vol. 51, no. 1. P. 175–192.
60. Rodríguez-Carrasco Y., Ruiz M.J., Font G., Berrada H. Exposure estimates to *Fusarium* mycotoxins through cereals intake. *Chemosphere*. 2013. Vol. 93, no. 10. P. 2297–2303.
61. Sabater-Vilar M., Malekinejad H., Selman M.H.J., Van Der Doelen M.A.M., Fink-Gremmels J. In vitro assessment of adsorbents aiming to prevent deoxynivalenol and zearalenone mycotoxicoses. *Mycopathologia*. 2007. Vol. 163, no. 2. P. 81–90.
62. Shetty P.H., Jespersen L. *Saccharomyces cerevisiae* and lactic acid bacteria as potential mycotoxin decontaminating agents. *Trends in Food Science and Technology*. 2006. Vol. 17, no. 2. P. 48–55.
63. Streit E., Schatzmayr G., Tassis P., Tzika E., Marin D., Taranu I., Tabuc C., Nicolau A., Aprodu I., Puel O., Oswald I.P. Current situation of mycotoxin contamination and co-occurrence in animal feed focus on Europe. *Toxins. Molecular Diversity Preservation International*. 2012. Vol. 4, no. 10. P. 788–809.
64. Streit E., Naehrer K., Rodrigues I., Schatzmayr G. Mycotoxin occurrence in feed and feed raw materials worldwide: Long-term analysis with special focus on Europe and Asia. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Wiley Online Library. 2013. Vol. 93, no. 12. P. 2892–2899.
65. Vekiru E., Fruhauf S., Sahin M., Ottner F., Schatzmayr G., Krska R. Investigation of various adsorbents for their ability to bind Aflatoxin B1. *Mycotoxin Research*. 2007. Vol. 23, no. 1. P. 27–33.
66. Vidal A., Marín S., Ramos A.J., Cano-Sancho G., Sanchis V. Determination of aflatoxins, deoxynivalenol, ochratoxin A and zearalenone in wheat and oat based bran supplements sold in the Spanish market. *Food and Chemical Toxicology*. 2013. Vol. 53. P. 133–138.
67. Wang J.P., Chi F., Kim I.H. Effects of montmorillonite clay on growth performance, nutrient digestibility, vulva size, faecal microflora, and oxidative stress in weaning gilts challenged with zearalenone. *Animal Feed Science and Technology*. 2012. Vol. 178, no. 3–4. P. 158–166.
68. Wielogorska E., MacDonald S., Elliott C.T. A review of the efficacy of mycotoxin detoxifying agents used in feed in light of changing global environment and legislation. *World Mycotoxin Journal*. 2016. Vol. 9, no. 3. P. 419–433.
69. Zachariasova M., Dzuman Z., Veprikova Z., Hajkova K., Jiru M., Vaclavikova M., Zachariasova A., Pospichalova M., Florian M., Hajslova J. Occurrence of multiple mycotoxins in european feedingstuffs, assessment of dietary intake by farm animals. *Animal Feed Science and Technology*. 2014. Vol. 193. P. 124–140.