

УДК 59591.6
AGRIS L02

https://doi.org/10.33619/2414-2948/50/19

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОСНОВНЫХ МИКОТОКСИНОВ В КОРМОВОМ СЫРЬЕ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

- ©*Симонова Е. И.*, ORCID: 0000-0001-7798-3859, SPIN-код: 9612-6527,
Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия, 1032172992@rudn.ru
©*Кондрашкина К. М.*, ORCID: 0000-0001-8282-2734, Российский
университет дружбы народов, г. Москва, Россия, 1032161257@rudn.ru
©*Рыцова Е. О.*, ORCID: 0000-0002-0516-6056, SPIN-код: 2027-4235, канд. с.-х. наук,
Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия, rystsova-eo@rudn.ru
©*Большакова М. В.*, ORCID: 0000-0002-4553-7974, SPIN-код: 9428-4046, канд. биол. наук,
Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия

PREVALENCE OF THE MAIN MYCOTOXINS IN FODDER RAW MATERIALS AND THEIR CHARACTERISTIC

- ©*Simonova E.*, ORCID: 0000-0001-7798-3859, SPIN-code: 9612-6527,
Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia, 1032172992@rudn.ru
©*Kondrashkina K.*, ORCID: 0000-0001-8282-2734, *Peoples' Friendship University of Russia,*
Moscow, Russia, 1032161257@rudn.ru
©*Rystsova E.*, ORCID: 0000-0002-0516-6056, SPIN-code: 2027-4235, Ph.D.,
Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia, rystsova-eo@rudn.ru
©*Bolshakova M.*, ORCID: 0000-0002-4553-7974, SPIN-code: 9428-4046, Ph.D.,
Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

Аннотация. Микотоксины — это вторичные метаболиты с низкой молекулярной массой, вырабатываемые нитевидными грибами. Наиболее важные группы микотоксинов, обнаруживаемых в кормах, продуцируются тремя родами грибов: *Aspergillus*, *Penicillium* и *Fusarium*. Корма для животных подвергаются загрязнению микотоксинами из разных источников, при этом уровень микотоксинов в корме обычно не превышает предельно допустимый. Домашняя птица, свиньи, а также водные позвоночные очень чувствительны к микотоксинам. Жвачные животные, как правило, более устойчивы к неблагоприятным воздействиям, поскольку микробиота рубца способна разрушать микотоксины. Микотоксины наносят огромный экономический ущерб, приводя к увеличению затрат на здравоохранение и ветеринарную помощь, а также сокращению производства продукции животноводства. Эффекты длительного воздействия афлатоксинов проявляются снижением набора веса, выработки молока, производства яиц, повышенной восприимчивостью к болезням, снижением эффективности кормления и тератогенностью. Охратоксин А обладает нефротоксическими, канцерогенными, тератогенными, иммунодепрессивными и, возможно, нейротоксическими свойствами. Основными трихотеценовыми микотоксинами являются токсин Т-2, дезоксиниваленол и диацетоксисцирпенол. Дезоксиниваленол приводит к потере веса и отказу от корма, вызывает поражения желудочно-кишечного тракта, рвоту, кровавую диарею и тяжелый дерматит, сопровождающийся кровоизлияниями. Зеараленон и некоторые из его метаболитов могут конкурентно связываться с рецепторами эстрогена, что приводит к нарушениям репродуктивной функции и эстрогенной дисфункции, ухудшению фертильности, увеличению частоты мертворождений, а также снижению качества спермы. Фумонизин обладает канцерогенными и сердечно-сосудистыми токсическими эффектами.

Abstract. Mycotoxins are low molecular weight secondary metabolites produced by filamentous fungi. The most relevant groups of mycotoxins found in animal feed are produced by three genera of fungi: *Aspergillus*, *Penicillium*, and *Fusarium* species. Animal feeds are routinely contaminated by mycotoxins from diverse sources. In most cases, the concentrations are low enough to ensure compliance with Maximum Permitted Levels. Poultry, pigs and also aquatic vertebrates are very sensitive to mycotoxins. Ruminants are, however, generally more resistant to the adverse effects of mycotoxins, since the rumen microbiota is capable of degrading mycotoxins. Mycotoxins cause huge economic damage, leading to increased costs for health and veterinary care, as well as reduce livestock production. The effects of long-term exposure of aflatoxins are associated with the reduction of weight gain, decreased milk or egg production, teratogenicity. Ochratoxin A causes renal toxicity and possesses carcinogenic, teratogenic, immunosuppressive and possibly neurotoxic properties. The main trichothecenes mycotoxins are T-2 toxin, deoxynivalenol and diacetoxyscirpenol. Deoxynivalenol is primarily known for causing feed refusal, weight loss. It also causes lesions in the gastrointestinal tract, vomiting, bloody diarrhea and severe dermatitis accompanied by hemorrhaging. Zearalenone and some of its metabolites, can competitively bind to oestrogen receptors leading to reproductive disorders and oestrogenic dysfunction, impairing fertility and increasing the frequency of stillbirths along with reducing sperm quality. Fumonisin causes carcinogenicity and cardiovascular toxic effects.

Ключевые слова: микотоксины, афлатоксины, охратоксин А, дезоксиниваленол, зеараленон, фумонизины.

Keywords: mycotoxins, aflatoxins, ochratoxin A, deoxynivalenol, zearalenone, fumonisins.

Микотоксины — это токсичные вторичные метаболиты с низкой молекулярной массой, вырабатываемые нитевидными грибами. Было идентифицировано около 400 различных микотоксинов, которые сильно различаются по размеру и структуре [1].

Наиболее важные группы микотоксинов, обнаруживаемых в кормах, продуцируются тремя родами грибов: *Aspergillus* (афлатоксины (AFs) и охратоксин А (OTA)), *Penicillium* (OTA) и *Fusarium* (трихотецены, фумонизины (FBs), и зеараленон (ZEN)). AFB₁, DON, ZEN, OTA и FB₁ наносят наибольший экономический ущерб сельскому хозяйству (Таблица). Экономическое воздействие микотоксинов включает в себя гибель людей и животных, увеличение затрат на здравоохранение и ветеринарную помощь, а также сокращение производства продукции животноводства.

Заболевания, вызванные кратковременным или длительным потреблением микотоксинов, известны как микотоксикозы. Домашняя птица, свиньи, а также водные позвоночные очень чувствительны к микотоксинам. Жвачные животные более устойчивы, поскольку микробиота рубца способна разрушать микотоксины [2].

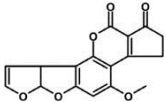
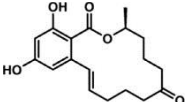
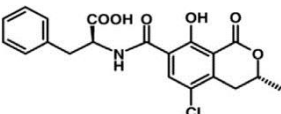
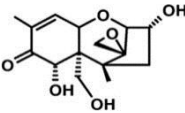
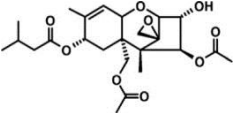
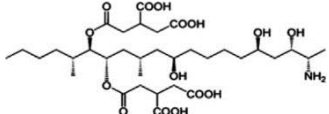
Когда несколько видов микотоксинов одновременно присутствуют в корме, можно наблюдать аддитивные, антагонистические или синергические эффекты. Опубликованы многочисленные сообщения о синергических или аддитивных эффектах, главным образом, для AF в сочетании с FB, трихотеценами, OTA или смесями различных токсинов *Fusarium* [3].

Были проведены исследования для оценки распространенности микотоксинов во всем мире в кормах и кормовом сырье. AF в основном встречался в образцах зерновых из регионов с тропическим или субтропическим климатом (Южная Европа, Африка, Южная и Юго-Восточная Азия). Количество AFB₁ часто было самым высоким в смесях AF.

Загрязнение DON наблюдалось во всем мире, более 60% положительных образцов были обнаружены в пробах (пшеница, кукуруза и ячмень) из Северной Америки, Северной и Центральной Европы и Северной Азии [4, 5].

Таблица.

СТРУКТУРНЫЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ФОРМУЛЫ ОСНОВНЫХ МИКОТОКСИНОВ.
 AFB1, AFLATOXIN B1; ZEA, ZEARALENONE; OTA, OCHRATOXIN A;
 DON, ДЕЗОКСИНИВАЛЕНОЛ; FB1, ФУМОНИЗИН B1 [9]

Микотоксины	Структурная формула	Молекулярная формула
AFB ₁		C ₁₇ H ₁₂ O ₆
ZEN		C ₁₈ H ₂₂ O ₅
OTA		C ₂₀ H ₁₈ ClNO ₆
DON		C ₁₅ H ₂₀ O ₆
T-2 toxin		C ₂₄ H ₃₄ O ₉
FB1		C ₃₄ H ₅₉ NO ₁₅

Наибольшая частота заражения ZEN (более 30% положительных образцов) в Северной и Южной Америке, Центральной Европе, Африке, Северной и Юго-Восточной Азии. С другой стороны, загрязнение FB было обнаружено главным образом в кукурузе из Южной Америки, Южной Европы, Африки и Юго-Восточной Азии, причем FB1 является наиболее распространенным [2, 5].

Различные микотоксины *Fusarium* часто обнаруживались совместно в загрязненных злаках [6]. Распространенность OTA была самой высокой в Южной Азии и Африке, но его распределение по загрязненным партиям кормов было очень неоднородным [2, 5].

Характер распространения микотоксинов меняется в результате повышения средней температуры из-за изменения климата [7].

В Южной Европе загрязнение AF, ранее не встречавшееся в Европе, становится все более значительным [2].

Результаты исследований кормов, проведенных в Европе, подчеркивают проблему высокого уровня совместного загрязнения рядом различных микотоксинов. Из 82% загрязненных образцов корма чаще всего встречались трихотецены типа В и FB, 75% были загрязнены более чем одним микотоксином, в то время как только два образца превысили рекомендуемые уровни ЕС. Также были проведены исследования по кормам и кормовым

ингредиентам, полученным в Южной Европе [2]. Микотоксины Fusarium (трихотецены типа В, ZEN и FB) были основными загрязнителями, тогда как АФ и ОТА обнаруживались реже.

Сообщалось, что 23% всех образцов из Испании содержали как минимум два микотоксина. Другие исследователи оценивали уровень микотоксинов в сырых материалах и продуктах питания животных в Польше в 2011–2014 гг.

В общей сложности 1384 образца (образцы кукурузы, образцы кукурузного силоса, образцы мелких зерновых злаков и образцы комбикормов) были проанализированы на наличие токсинов DON, Nivalenol (NIV), Т-2 и НТ-2, ZEN, FBs, ОТА и ФП. В этом случае DON, а также ZEN были наиболее часто встречающимися микотоксинами, присутствующими в 89% и 92% образцов кукурузы и в 86 и 88% образцов кукурузного силоса, соответственно. Кроме того, в 24 образцах содержание микотоксинов превысило рекомендации ЕС. Что касается комбикормов, трихотецены и ZEN были обнаружены в более чем 90% образцов [8].

Афлатоксины. Афлатоксины АФ представляют собой относительно гидрофильные молекулы, продуцируемые грибами рода *Aspergillus*. Основными известными афлатоксинами являются В1, В2, G1 и G2, с установленной классификацией, основанной на их флуоресценции в ультрафиолетовом свете (В1/4 синий, зеленый G 1/4) и подвижности при тонкослойной хроматографии. В основном они производятся *Aspergillus flavus* и *Aspergillus parasiticus*. Однако виды *Aspergillus nomius*, *Aspergillus bombycis*, *Aspergillus pseudotamari* и *Aspergillus ochraceoroseus* также оказались афлатоксигенными [1].

АFB1 является наиболее сильным природным канцерогеном, классифицированным IARC как группа 1. Это единственный микотоксин с установленным MPL в пищевых продуктах. Лактирующие животные, потребляющие корм, зараженный АFB1, будут производить молоко, загрязненное его моногидроксилированным производным АFM1, классифицированным IARC как группа 2В, возможно, канцерогенными для человека [1].

Хронические токсикозы являются наиболее распространенной формой афлатоксикоза, вызванной потреблением относительно небольших количеств этих токсических соединений в течение длительного периода.

Основным целевым органом токсичности АFB1 является печень, в ней он может превращаться в различные метаболиты [10].

Эффекты длительного воздействия АFs проявляются снижением набора веса, снижением выработки молока или яиц, повышенной восприимчивостью к болезням, снижением эффективности кормления, опухолью и тератогенностью. Домашняя птица, крупный рогатый скот и свиньи являются видами, представляющими наибольший экономический интерес в плане афлатоксикоза. Некоторые виды рыб и птиц чрезвычайно чувствительны к токсическому и канцерогенному действию АFB1 [11].

У домашней птицы содержание 2,5 мг АFs/кг снизило потребление корма (FI) на 9–11%. Также наблюдалось снижение набора веса на 30% у цыплят после потребления корма, загрязненного на уровне 0,03 мг АFB1/кг корма.

У жвачных снижение потребления корма и удоев наблюдалось при загрязнении на уровне 1–2 мг АFB1/кг корма [2].

У свиней падеж и заболевания печени наблюдались после приема пищи загрязненной 0,8–3 мг АFB1/кг в течение одного месяца.

У рыб (*Oreochromis niloticus*, *Nile tilapia*) наблюдалось снижение скорости роста наряду с повреждением печени при уровне от 0,245 мг АFB1/кг корма [10]. Радужная форель считается наиболее чувствительным к АФ видом рыб [11].

Охратоксин А. Охратоксин А (ОТА), вырабатываемый грибами видов *Penicillium* и *Aspergillus*, естественным образом встречается во всем мире в различных растительных продуктах, таких как ячмень, кофейные зерна, какао-бобы и орехи. Он также был обнаружен в продуктах из зерновых, вина, пива, виноградного сока и продуктах животного происхождения [1].

ОТА является нефротоксическим микотоксином и обладает канцерогенными, тератогенными, иммунотоксическими и, возможно, нейротоксическими свойствами. Этот токсин был классифицирован IARC как возможный канцероген для человека (Группа 2B). У животных после длительного приема ОТА возникает нефропатия, связанная с дегенерацией извитых канальцев нефрона и почечным интерстициальным фиброзом, с последующим уменьшением толщины базальной мембраны и гиалинизацией клубочков [12].

Жвачные животные, по-видимому, устойчивы к воздействию ОТА. У свиней при острых охратоксикозах наблюдаются заболевания почек (нефропатия), тогда как при хроническом охратоксикозе первыми признаками являются - снижение потребления корма и набора веса при уровне 1–1,4 мг ОТА/кг корма. Сообщалось, что у домашней птицы нефропатия возникает при уровне 2 мг ОТА/кг корма, а первые признаки хронического охратоксикоза отмечаются при минимальном уровне 0,5 мг ОТА / кг корма у кур-несушек и цыплят [2].

Охратоксин может вызвать иммуносупрессию у бройлеров, цыплята становятся более восприимчивыми к сальмонелезам [1]. Наблюдалось снижение уровней плазматических белков, альбуминов и глобулинов при использовании или без использования адсорбентов. Был повышен уровень мочевой кислоты в крови, наблюдался некроз клеток почечных канальцев и гепатоцитов, гиперплазия желчных протоков и увеличение диаметра провентрикулярных желез. У сома неблагоприятные эффекты наблюдались при концентрации 1,0 мг ОТА/кг корма [11].

Трихотецены. Основными трихотеценовыми микотоксинами являются токсин Т-2, дезоксиниваленол (DON) и диацетоксисцирпенол (DAS). Все они производятся несколькими видами грибов *Fusarium* при температуре ниже 15°C [1]. Т-2 in vitro токсичен для макрофагов кур, подавляя их фагоцитарную способность. Он также может образовывать перекиси из липидов, что приводит к снижению концентрации витаминов у птиц. Микотоксины Т-2 и DAS в концентрациях около 1 ppm в корме вызывали поражение ротовой полости у бройлеров, что приводило к снижению аппетита с последующим снижением потребления корма [1].

DON относится к трихотеценовой группе В и является одним из наименее остро токсичных веществ этой группы. Однако представляет особый интерес из-за его высокой распространенности в зерновых во всем мире. DON также известен как vomitоксин. Он вызывает отказ от корма, потерю веса, снижает эффективность питания и вызывает поражения желудочно-кишечного тракта, рвоту, кровавую диарею и тяжелый дерматит, сопровождаемый кровотечением. Другими симптомами являются иммунные нарушения, такие как иммуносупрессия или иммуностимуляция. У свиней, наиболее чувствительных из восприимчивых видов, DON также обладает нейротоксическим эффектом, который вызывает анорексический синдром, изменяя концентрацию нейротрансмиттеров в гипоталамусе, мозжечке и лобной коре [2].

DON может быть получен вместе с двумя ацетилированными производными, 3-ацетилдеоксиниваленолом (3-АсDON) и 15-ацетилдеоксиниваленолом (15-АсDON), которые имеют дифференциальную токсичность для кишечника свиньи [8].

Первые признаки снижения потребления корма у свиней наблюдались при уровне 1-3 мг ДОН/кг корма [2]. У жвачных животных, являющихся наименее чувствительными к ДОН, синдром отказа от корма был замечен после употребления в течение 10 недель с концентратом пшеницы 6,4 мг ДОН/кг корма [13]. У домашней птицы, которая, по-видимому, относительно устойчива к ДОН, по сравнению с другими видами, эффекты варьируются в зависимости от вида. Уровни ДОН в рационе ниже и выше рекомендуемых пределов (1,8 и 18 мг/кг соответственно) в разной степени влияли на производительность цыплят и состояние органов. Концентрации выше 5 мг ДОН/кг рациона необходимы, чтобы вызвать отрицательные эффекты у домашней птицы. Достаточно низкие дозы дезоксиниваленола влияют на дифференцировку энтероцитов [1].

У бройлеров, экспериментально инфицированных *Clostridium perfringens*, при скармливании диеты, содержащей от 3 до 4 мг/кг ДОН, двенадцатиперстная кишка обладала более низким электрическим трансэпителиальным сопротивлением и более низкой высотой ворсин, что свидетельствует о нарушении барьера и повреждении кишечного эпителия [1]. Форель чрезвычайно чувствительна к ДОН. Наблюдалось значительное снижение потребления корма, набора веса, скорости роста и эффективности кормления у форели, подвергшейся воздействию рационов, загрязненных естественным путем, от 0,3 до 2,6 мг ДОН/кг корма в течение 8 недель [11].

Зеараленон. ZEN — нестероидный эстрогенный токсин, вырабатываемый некоторыми видами *Fusarium*. ZEN и некоторые из его метаболитов могут конкурентно связываться с рецепторами эстрогена, что приводит к нарушениям репродуктивной функции и эстрогенной дисфункции у людей и животных (особенно у племенных животных), нарушая фертильность и повышая частоту мертворождения, а также снижает качество сперматозоидов. Во время беременности ZEN снижает выживаемость эмбриона и вес плода. Кроме того, ZEN вызывает дилатацию и покраснение вульвы, задержку или отсутствие молока и ректальный пролапс [1, 2].

Свиньи наиболее сильно подвержены негативному влиянию этого токсина. У свиней первые признаки эстрогенного синдрома появлялись через 3-7 дней на диете, зараженной ZEN, при содержании 1,5 мг/кг корма [13].

У жвачных животных наблюдалось снижение фертильности у молочного скота при уровнях ZEN выше 0,5 мг/кг корма [13].

Домашняя птица, по-видимому, наиболее устойчива к ZEN. На основании экспериментальных исследований, уровни выше 100 мг ZEN/кг корма необходимы, чтобы увидеть первые признаки интоксикации [13]. Бройлеры не показали особых изменений в производительности, но наблюдалось уменьшение количества лейкоцитов, гипертрофия некоторых яйцеводов и сжатие гребня [1]. Хотя ZEN не влияет на продуктивность цыплят при естественном загрязнении, следует отметить, что органы здравоохранения стран-импортеров должны быть очень внимательны к остаткам ZEN в курином мясе, поскольку этот микотоксин в определенных концентрациях может вызывать анаболический эффект в организме людей и других млекопитающих и развитие опухолей вследствие хронического воздействия [2].

После введения радужной форели до 10 мг ZEN/кг в течение 24, 72 и 168 ч заметили небольшую тенденцию к увеличению времени свертывания и снижению концентрации железа в печени и яичнике [14].

Фумонизины. Фумонизины (B1, B2 и B3) относятся к большой группе микотоксинов, вырабатываемых грибами *Fusarium*, естественными загрязнителями зерновых, особенно кукурузы и содержащих ее продуктов. Острая и хроническая токсичность FBs наблюдалась у

нескольких видов животных, проявляясь канцерогенностью и сердечно-сосудистыми токсическими эффектами. На основании токсикологических данных IARC классифицировал FB1 как канцерогенный для человека (группа 2B). Печень и почка являются основными органами-мишенями для FB, кишечник является возможной мишенью [2].

У лошадей потребление корма, загрязненного FB, было признано причиной заболевания, известного как лейкоэнцефаломалация лошадей (ELEM). Первыми симптомами являются летаргия, слепота и снижение потребления корма, за ними следуют судороги и смерть через несколько часов или дней [15].

Аналогично, было показано, что корма, зараженные FB1, вызывают у свиней синдром, известный как отек легких у свиней (PPE). Клинические признаки обычно включают снижение потребления корма, одышку, слабость, цианоз и смерть [15].

Основываясь на нескольких исследованиях, уровни выше 100 мг FB1/кг корма необходимы для того, чтобы появились первые признаки зоотехнических нарушений у свиней [13].

Коровы и птица значительно менее чувствительны к FB, чем лошади и свиньи [13].

У птиц снижается продуктивность, наблюдается выраженная иммуносупрессия, затрагивающая клетки и органы иммунной системы. Снижение биосинтеза сфинголипидов, вызванное фумонизинами, может изменить электрическую регуляцию эпителиальных клеток. Фумонизины также блокируют фазы митотического цикла эпителиальных клеток, уменьшая их пролиферацию. Фумонизин индуцирует гиперплазию эпителиальных клеток в слизистой оболочке кишечника кур, а также влияет на выработку клетками кишечника цитокинов, которые играют фундаментальную роль в активизации воспалительных клеток для защиты слизистой оболочки кишечника [1, 15].

У рыб FB оказывают разрушительное воздействие на нервные ткани и ткани печени. Чувствительность к FB1 у рыб зависит как от вида, так и от индивидуальной массы тела (BW) [11].

Исследования показывают, что совместно загрязненные пробы могут оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье животных даже при концентрациях токсинов, находящихся в пределах норм [3].

На глобальном уровне загрязнено 30–100% образцов пищевых продуктов и кормов [2].

72% обследованных образцов кормов содержали обнаруживаемые уровни микотоксинов, в то время как только 1–18% образцов (в зависимости от токсина) представляли уровни выше максимально допустимых [2].

Результаты изучения распространенности микотоксинов в кормах во всем мире из ВЭЖХ(HPLC) показали, что 81% из 6000 образцов дали положительный результат по крайней мере на один микотоксин, хотя во многих случаях нормативные уровни не были превышены.

Наиболее часто встречающимися микотоксинами были дезоксиниваленол (DON) (65%), FB (56%) и ZEN (44%), за которыми следуют AF (31%) и OTA (27%) [2].

Заключение

Изучение встречаемости любого микотоксина в отдельности дает неполную информацию о риске, связанном с соответствующими кормами, учитывая тот факт, что микотоксигенные грибы обычно способны продуцировать более одного микотоксина, поэтому корма для животных особенно предрасположены к множественным загрязнениям [2].

В связи с изменением климата, микотоксины, ранее не встречавшиеся в странах с более холодным климатом, все больше загрязняют кормовые продукты. Загрязнение кормов микотоксинами является глобальной и очень актуальной проблемой.

Список литературы.:

1. Oliveira H. F. et al. Mycotoxins in broiler production // Revista de Ciências Agroveterinárias. 2018. V. 17. №2. P. 292-299. <http://dx.doi.org/10.5965/223811711722018292>
2. Vila-Donat P., Marín S., Sanchis V., Ramos A.J., A review of the mycotoxin adsorbing agents, with an emphasis on their multi-binding capacity, for animal feed decontamination // Food and chemical toxicology. 2018. V. 114. P. 246-259. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.02.044>
3. Grenier B., Oswald I. Mycotoxin co-contamination of food and feed: meta-analysis of publications describing toxicological interactions // World Mycotoxin Journal. 2011. V. 4. №3. P. 285-313. <https://doi.org/10.3920/WMJ2011.1281>
4. 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. V. 8. №2. P. 45. <https://doi.org/10.3390/toxins8020045>
5. 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. 2013. V. 93. №12. P. 2892-2899. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6225>
6. Stanciu O., Juan C., Miere D., Loghin F., Mañes J. Occurrence and co-occurrence of Fusarium mycotoxins in wheat grains and wheat flour from Romania // Food Control. 2017. V. 73. P. 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.07.042>
7. Wielogórska 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. V. 9. №3. P. 419-433. <https://doi.org/10.3920/WMJ2015.1919>
8. Kosicki R., Błajet-Kosicka A., Grajewski J., Twarużek M. Multiannual mycotoxin survey in feed materials and feedingstuffs // Animal Feed Science and Technology. 2016. V. 215. P. 165-180. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.03.012>
9. Li Y., Tian G., Dong G., Bai S., Han X., Liang J., Meng J., Zhang H. Research progress on the raw and modified montmorillonites as adsorbents for mycotoxins: A review // Applied Clay Science. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.07.032>
10. Di Gregorio M. C., Neeff D. V. D., Jager A. V., Corassin C. H., Carão Á. C. D. P., Albuquerque R. D., Oliveira C. A. F. et al. Mineral adsorbents for prevention of mycotoxins in animal feeds // Toxin Reviews. 2014. V. 33. №3. P. 125-135. <https://doi.org/10.3109/15569543.2014.905604>
11. Anater A., Manyes L., Meca G., Ferrer E., Bittencourt F., Turra C., Font G. Mycotoxins and their consequences in aquaculture: A review // Aquaculture. 2016. V. 451. P. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.08.022>
12. Pfohl-Leszkowicz A. et al. Assessment and characterisation of yeast-based products intended to mitigate ochratoxin exposure using in vitro and in vivo models // Food Additives & Contaminants: Part A. 2015. V. 32. №4. P. 604-616. <https://doi.org/10.1080/19440049.2014.970590>
13. Boudergue C. et al. Review of mycotoxin-detoxifying agents used as feed additives: mode of action, efficacy and feed/food safety // EFSA Supporting Publications. 2009. V. 6. №9. P. 22E. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2009.EN-22>

14. Wozny M., Obremski K., Jakimiuk E., Gusiatin M., Brzuzan P., Zearalenone contamination in rainbow trout farms in north-eastern Poland // *Aquaculture*. 2013. V. 416. P. 209-211. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.09.030>

15. Morgavi D. P., Riley R. T. An historical overview of field disease outbreaks known or suspected to be caused by consumption of feeds contaminated with Fusarium toxins // *Animal feed science and technology*. 2007. V. 137. №3-4. P. 201-212. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.06.002>

References:

1. Oliveira, H. F., Souto, C. N., Martins, P. C., Di Castro, I. C., & Mascarenhas, A. G. (2018). Mycotoxins in broiler production. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 17(2), 292-299. <http://dx.doi.org/10.5965/223811711722018292>

2. Vila-Donat, P., Marín, S., Sanchis, V., & Ramos, A. J. (2018). A review of the mycotoxin adsorbing agents, with an emphasis on their multi-binding capacity, for animal feed decontamination. *Food and chemical toxicology*, 114, 246-259. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.02.044>

3. Grenier, B. O. I. P., & Oswald, I. (2011). Mycotoxin co-contamination of food and feed: meta-analysis of publications describing toxicological interactions. *World Mycotoxin Journal*, 4(3), 285-313. <https://doi.org/10.3920/WMJ2011.1281>

4. Pinotti, L., Ottoboni, M., Giromini, C., Dell'Orto, V., & Cheli, F. (2016). Mycotoxin contamination in the EU feed supply chain: A focus on cereal byproducts. *Toxins*, 8(2), 45. <https://doi.org/10.3390/toxins8020045>

5. Streit, E., Naehrer, K., Rodrigues, I., & Schatzmayr, G. (2013). 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*, 93(12), 2892-2899. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6225>

6. Stanciu, O., Juan, C., Miere, D., Loghin, F., & Mañes, J. (2017). Occurrence and co-occurrence of Fusarium mycotoxins in wheat grains and wheat flour from Romania. *Food Control*, 73, 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.07.042>

7. Wielogórska, E., MacDonald, S., & Elliott, C. T. (2016). A review of the efficacy of mycotoxin detoxifying agents used in feed in light of changing global environment and legislation. *World Mycotoxin Journal*, 9(3), 419-433. <https://doi.org/10.3920/WMJ2015.1919>

8. Kosicki, R., Błajet-Kosicka, A., Grajewski, J., & Twarużek, M. (2016). Multiannual mycotoxin survey in feed materials and feedingstuffs. *Animal Feed Science and Technology*, 215, 165-180. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.03.012>

9. Li, Y., Tian, G., Dong, G., Bai, S., Han, X., Liang, J., ... & Zhang, H. (2018). Research progress on the raw and modified montmorillonites as adsorbents for mycotoxins: A review. *Applied Clay Science*. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.07.032>

10. Di Gregorio, M. C., Neeff, D. V. D., Jager, A. V., Corassin, C. H., Carão, Á. C. D. P., Albuquerque, R. D., ... & Oliveira, C. A. F. (2014). Mineral adsorbents for prevention of mycotoxins in animal feeds. *Toxin Reviews*, 33(3), 125-135. <https://doi.org/10.3109/15569543.2014.905604>

11. Anater, A., Manyes, L., Meca, G., Ferrer, E., Luciano, F. B., Pimpão, C. T., & Font, G. (2016). Mycotoxins and their consequences in aquaculture: A review. *Aquaculture*, 451, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.08.022>

12. Pfohl-Leszkowicz, A., Hadjeba-Medjdoub, K., Ballet, N., Schrickx, J., & Fink-Gremmels, J. (2015). Assessment and characterisation of yeast-based products intended to mitigate ochratoxin

exposure using in vitro and in vivo models. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 32(4), 604-616. <https://doi.org/10.1080/19440049.2014.970590>

13. Boudergue, C., Burel, C., Dragacci, S., FAVROT, M. C., FREMY, J. M., Massimi, C., ... & Morgavi, D. (2009). Review of mycotoxin-detoxifying agents used as feed additives: mode of action, efficacy and feed/food safety. *EFSA Supporting Publications*, 6(9), 22E. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2009.EN-22>

14. Woźny, M., Obremski, K., Jakimiuk, E., Gusiatin, M., & Brzuzan, P. (2013). Zearalenone contamination in rainbow trout farms in north-eastern Poland. *Aquaculture*, 416, 209-211. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.09.030>

15. Morgavi, D. P., & Riley, R. T. (2007). An historical overview of field disease outbreaks known or suspected to be caused by consumption of feeds contaminated with Fusarium toxins. *Animal feed science and technology*, 137(3-4), 201-212. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.06.002>

Работа поступила
в редакцию 05.12.2019 г.

Принята к публикации
09.12.2019 г.

Ссылка для цитирования:

Симонова Е. И., Кондрашкина К. М., Рысцова Е. О., Большакова М. В. Распространение основных микотоксинов в кормовом сырье и их характеристика // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №1. С. 168-177. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/50/19>

Cite as (APA):

Simonova, E., Kondrashkina, K., Rystsova, E., & Bolshakova, M. (2019). Prevalence of the Main Mycotoxins in Fodder Raw Materials and Their Characteristic. *Bulletin of Science and Practice*, 6(1), 168-177. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/50/19> (in Russian).