

УДК 619:615.9:636.085.19:543.9

DOI: 10.29326/2304-196X-2020-2-33-139-145

Микотоксикологический мониторинг. Сообщение 2. Зерно пшеницы, ячменя, овса, кукурузы*

Г. П. Кононенко¹, А. А. Буркин², Е. В. Зотова³

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии – филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко Российской академии наук» (ВНИИВСГЭ – филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН), г. Москва, Россия

¹ ORCID 0000-0002-9144-615X, e-mail: kononenkogp@mail.ru² ORCID 0000-0002-5674-2818, e-mail: aaburkin@mail.ru³ ORCID 0000-0002-1479-8602, e-mail: ezotova63@gmail.com

РЕЗЮМЕ

Представлены результаты микотоксикологического обследования средних образцов от партий фуражного и заготавливаемого зерна пшеницы, ячменя, овса и кукурузы, предоставленных специалистами ветеринарных служб, животноводческих и комбикормовых предприятий, компаний-сельхозпроизводителей, специализированных коммерческих организаций и владельцами крестьянских фермерских хозяйств из 7 федеральных округов Российской Федерации в период с 2009 по 2019 г. Сравнимые по объему выборки зерна пшеницы и ячменя были получены из Центрального, Приволжского, Уральского и Сибирского федеральных округов. Из Южного федерального округа число образцов пшеницы было больше, чем ячменя, а зерно кукурузы поступало в основном из субъектов Центрального федерального округа. Детектирование и измерение содержания фузариотоксинов, включающих Т-2 токсин, диацетоксисцирпенол, дезоксиниваленол, зеараленон и фумонизины группы В, а также альтернариола, охратоксина А, цитринина, афлатоксина В₁, стеригматоцистина, циклопиазеновой кислоты, микофеноловой кислоты, эргоалкалоидов и эмодина проводили по аттестованной процедуре с использованием конкурентного иммуноферментного анализа. В ходе обобщения результатов установлена доминирующая роль фузариотоксинов и активное участие альтернариола в контаминации всех видов зернофуража, а также частая встречаемость эмодина в зерне колосовых культур и повышенная распространенность Т-2 токсина и охратоксина А в зерне ячменя. Для основных контаминантов отмечено смещение медиан и 90%-го перцентиля в сторону меньших значений по отношению к средним и максимальным содержаниям, что указывало на возможность их накопления за пределами типичного диапазона. Наибольшие уровни Т-2 токсина, дезоксиниваленола и охратоксина А, а также показатели 90%-го перцентиля превышали допустимые нормы содержания. В зерне кукурузы комплекс анализированных фузариотоксинов представлен полностью с наибольшей встречаемостью Т-2 токсина, дезоксиниваленола, зеараленона и фумонизинов, и максимальные количества этих микотоксинов в несколько раз превышали принятые уровни нормирования. Диацетоксисцирпенол, афлатоксин В₁, стеригматоцистин, циклопиазеновая кислота и эргоалкалоиды отнесены к редким контаминантам кормового зерна. Факт обширной распространенности в зерне альтернариола и эмодина, известного как «диарейный фактор», а также контаминации зерна кукурузы микофеноловой кислотой – микотоксином с иммунодепрессивным действием, приведены в данной работе впервые. Эта информация подтверждает необходимость их введения в группу нормируемых санитарно-значимых показателей. Исходные данные мониторинга, систематизированные и обобщенные в данной работе, представлены в электронном виде в разделе «Дополнительные материалы».

Ключевые слова: зерно пшеницы, ячменя, овса, кукурузы, микотоксины, мониторинг, иммуноферментный анализ.

Для цитирования: Кононенко Г. П., Буркин А. А., Зотова Е. В. Микотоксикологический мониторинг. Сообщение 2. Зерно пшеницы, ячменя, овса, кукурузы. *Ветеринария сегодня*. 2020; 2 (33): 139–145. DOI: 10.29326/2304-196X-2020-2-33-139-145.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для корреспонденции: Кононенко Галина Пантелеевна, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией микотоксикологии и санитарии кормов ВНИИВСГЭ – филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН, 123022, Россия, г. Москва, Звенигородское шоссе, д. 5, e-mail: kononenkogp@mail.ru.

UDC 619:615.9:636.085.19:543.9

Mycotoxological monitoring. Part 2. Wheat, barley, oat and maize grain*

G. P. Kononenko¹, A. A. Burkin², Ye. V. Zotova³

All-Russia Research Institute of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology – Branch of the Federal State-Financed Scientific Institution "Federal Scientific Centre – All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine named after K.I. Stryabin and Ya.R. Kovalenko of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia (ARRIVSHE – Branch of the FSFSI FSC ARRIEVM RAS), Moscow, Russia

¹ ORCID 0000-0002-9144-615X, e-mail: kononenkogp@mail.ru² ORCID 0000-0002-5674-2818, e-mail: aaburkin@mail.ru³ ORCID 0000-0002-1479-8602, e-mail: ezotova63@gmail.com* Сообщение 1 см. *Ветеринария сегодня*. 2020; 1 (32): 60–65. DOI: 10.29326/2304-196X-2020-1-32-60-65.* Part 1: *Veterinary Science Today*. 2020; 1 (32): 60–65. DOI: 10.29326/2304-196X-2020-1-32-60-65.

SUMMARY

Results of mycotoxicological survey of representative samples of feed and procured wheat, barley, oat and maize grain batches are demonstrated. The samples were submitted by the Veterinary Service officials, livestock farmers and feed mill operators, agricultural producers, specialized commercial business operators and farm owners in seven Federal Districts of the Russian Federation in 2009–2019. Similar amounts of wheat and barley grain samples were received from the Central, Volga, Ural and Siberian Federal Districts. The amount of wheat samples delivered from the Southern Federal District prevailed over the number of barley samples, and the maize samples were mostly delivered from the regions of the Central Federal District. Fusarium toxins including T-2 toxin, diacetoxyscirpenol, deoxynivalenol, zearalenone and fumonisins of group B as well as alternariol, ochratoxin A, citrinin, aflatoxin B1, sterigmatocystin, cyclopiazonic acid, mycophenolic acid, ergot alkaloids and emodin were detected and measured according to the validated competitive ELISA procedure. Generalization of the results demonstrated domination of fusarium toxins and active involvement of alternariol in the contamination of all types of feed grains as well as high occurrence of emodin in ear cereals and increased occurrence of T-2 toxin and ochratoxin A in barley. Shift of medians and 90%-percentile of the basic contaminants to lower values as compared to mean and maximal ones was reported thus being indicative of their possible accumulation at the levels outside the typical range. The highest levels of T-2 toxin, deoxynivalenol and ochratoxin A as well as 90%-percentile values exceeded the acceptable levels. The maize grains demonstrated the whole complex of the tested fusarium toxins with the prevalence of T-2 toxin, deoxynivalenol, zearalenone and fumonisins; and the maximal amounts of these mycotoxins by several times exceeded the accepted regulatory levels. Diacetoxyscirpenol, aflatoxin B1, sterigmatocystin, cyclopiazonic acid and ergot alkaloids are classified as rare feed grain contaminants. High prevalence of alternariol and emodin known as “diarrhea factor” as well as maize grain contamination with mycophenolic acid (mycotoxin having an immunosuppressive effect) are for the first time reported in this paper. These data support the need of their introduction in the group of regulated substances significant for public health. Original monitoring data systematized and summarized in the paper are given in electronic format in section Additional materials.

Key words: wheat, barley, oat and maize grain, mycotoxins, monitoring, enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA).

For citation: Kononenko G. P., Burkin A. A., Zotova Ye. V. Mycotoxicological monitoring. Part 2. Wheat, barley, oat and maize grain. *Veterinary Science Today*. 2020; 2 (33): 139–145. DOI: 10.29326/2304-196X-2020-2-33-139-145.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For correspondence: Galina P. Kononenko, Doctor of Science (Biology), Professor, Head of Laboratory for Mycotoxicology and Feed Hygiene, ARRIVSHE – Branch of the FSFSI FSC ARRIEVM RAS, 123022, Russia, Moscow, Zvenigorodskoe shosse, 5; e-mail: kononenkogp@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Загрязненность зерна токсичными метаболитами микроскопических грибов (микотоксинами) была и остается в центре внимания мировой сельскохозяйственной науки как ключевая проблема, определяющая ветеринарное благополучие [1, 2]. В нашей стране санитарное качество зернофуража имеет важное значение практически для всех животноводческих отраслей не только в связи со значительными масштабами его использования в комбикормовом производстве, но также из-за все возрастающего интереса к гидропонным кормам и новым технологиям его консервирования в условиях повышенной влажности. Для большинства видов продуктивных животных и птицы основу кормовых рационов составляют зерновые ингредиенты – зерно пшеницы, ячменя и кукурузы, а зерно овса традиционно представляет особую ценность для коневодства.

Обширное распространение фузариозного поражения зерновых культур, иногда приобретающего характер злостных эпифитотий, многие годы вызывало повышенное внимание к рискам возникновения токсикозов животных [3]. В период с 1995 по 2005 г. была выполнена целевая государственная программа, направленная на оценку последствий пораженности зерна токсигенными грибами рода *Fusarium* с целью прогнозирования развития ситуации по территориям возделывания [4], и впервые получены сведения об особенностях распространения фузариотоксинов [5, 6]. Затем были инициированы региональные обследования и в отношении других санитарно-значимых микотоксинов [7]. Важным итогом предпринятых усилий стало введение в действие Технического регламента Таможенного союза «О безопасности зерна» (ТР ТС 015/2011) с допустимыми нормами их содержания в кормовом зерне [8].

Согласно данным мировой науки, перечень микотоксинов, способных вызывать хронические отравления животных и оказывать особо опасные формы повреждающего отдаленного действия на их организм, пока еще далеко не исчерпан, и совершенствование системы контроля безопасности зерна остается весьма актуальным. Все большее число стран осознает необходимость регулярных мониторинговых исследований и функционирования на постоянной основе специализированных структур для координации действий и оперативной экспертной оценки полученных сведений. В нашей стране решение перспективной задачи по созданию национального информационного ресурса, направленной на снижение рисков микотоксикозов сельскохозяйственных животных, предполагает систематизацию аналитических исследований и представление данных в рамках единого подхода, сочетающего их всестороннюю оценку и доступность для пополнения и использования специалистами.

Цель данной работы – обобщение результатов обследования загрязненности микотоксинами фуражного и заготовляемого зерна пшеницы, ячменя, овса и кукурузы, направленного из субъектов 7 федеральных округов РФ в период с 2009 по 2019 г., с представлением исходных данных в учетной электронной базе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования были средние образцы от партий фуражного и заготовляемого зерна, представленные специалистами ветеринарных служб, животноводческих и комбикормовых предприятий, компаний-сельхозпроизводителей, специализированных коммерческих организаций и владельцами крестьянских фермерских хозяйств в 2009–2019 гг.

Для 623 образцов зерна пшеницы, ячменя и кукурузы документальное или ответственное подтверждение территории сбора имели 589 образцов, 30 предоставлены без данных о происхождении и 4 получены по импорту (табл. 1). Зерно овса в количестве 27 образцов поступило для анализа в основном из Тульской, Московской областей и Краснодарского края, а также из Брянской, Курской, Тюменской областей и Республики Саха (Якутия).

В группу определяемых микотоксинов входили Т-2 токсин (Т-2), диацетоксисцирпенол (ДАС), дезоксиниваленол (ДОН), зеараленон (ЗЕН), фумонизины группы В (ФУМ), альтерналиол (АОЛ), охратоксин А (ОА), цитринин (ЦИТ), афлатоксин В₁ (АВ₁), стеригматоцистин (СТЕ), циклопиазоновая кислота (ЦПК), микофеноловая кислота (МФК), эргоалкалоиды (ЭА) и эмодин (ЭМО). Пробоподготовку проводили в соответствии с унифицированной методикой, основанной на жидкостной экстракции и непрямом конкурентном иммуноферментном анализе, с официальным статусом [9]. Пределы измерений, определенные по 85%-му уровню связывания антител, составили 2 (АВ₁), 3 (ЭА), 4 (Т-2, ОА, СТЕ), 20 (ЗЕН, АОЛ, ЦИТ, МФК, ЭМО) и 50 (ДАС, ДОН, ФУМ, ЦПК) мкг/кг. В учетной форме базы данных использовали кодирование по критериям – вид зерна (ПШ, ЯЧ, ОВ, КУК), регион (ФО и СУБЪЕКТ), учетный год (1–11), определяемые микотоксины. Для статистической обработки применяли программы Microsoft Excel 2016 и Statistica (версия 6) с вычислением процента встречаемости по соотношению n^+/n и трех показателей по положительным образцам – среднего арифметического, медианы и 90%-го перцентиля.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как следует из данных, представленных в таблице 1, охват территорий сбора зерна в Центральном

и Приволжском федеральных округах (ФО) был наибольшим, им заметно уступали Южный, Уральский и Сибирский ФО, а из Северо-Западного и Дальневосточного ФО образцы поступили лишь из двух субъектов по каждому. Общее число исследованных образцов зерна пшеницы, ячменя и кукурузы было вполне сопоставимым, но распределение по регионам – неоднородным. Для зерна пшеницы и ячменя сравнимые по объему выборки были получены только из Центрального, Приволжского, Уральского и Сибирского ФО, а из Южного ФО различались весьма значительно. Зерно кукурузы было предоставлено в основном субъектами Центрального ФО.

В зерне пшеницы выявлены все анализированные микотоксины, кроме ДАС и АВ₁ (табл. 2). Чаше других обнаруживали Т-2 и ДОН, а также АОЛ и ЭМО, остальные встречались с частотой от 1,0 до 4,9%. Количества токсинов, как правило, варьировали в пределах двух порядков, только для ЗЕН диапазон изменчивости не превышал одного порядка. Для всех контаминантов отмечалось смещение медиан в сторону меньших значений по отношению к средним, то есть единообразие несимметричного распределения содержаний, при котором половина данных меньше остальных. Наибольшие количества превышали пороговые концентрации, вычисленные для 90% значений (90%-й перцентиль), особенно значительно у Т-2, ДОН, АОЛ и ЭМО, что указывало на возможность их аномально высокого накопления на фоне типичной контаминации. Более того, для ДОН значение 90%-го перцентиля в несколько раз превышало его допустимое содержание – 1000 мкг/кг [8]. Важно отметить, что при относительно редкой встречаемости предельные уровни ОА и ЦИТ, найденные в зерне, как и пороговые концентрации для 90% значений, были значительно выше рекомендованных нормативов [8, 10].

Таблица 1

Территории, с которых направлены средние образцы зерна пшеницы, ячменя, кукурузы (согласно документальным и ответственным подтверждениям, 2009–2019 гг.)

Table 1

Areas, from which representative samples of wheat, barley and maize grain were delivered (according to documented and official data, 2009–2019)

Федеральный округ (субъект) РФ	Число образцов		
	пшеница	ячмень	кукуруза
Центральный (Белгородская, Брянская, Воронежская, Калужская, Курская, Липецкая, Московская, Орловская, Рязанская, Тамбовская, Тульская, Ярославская области)	65	58	190
Приволжский (Кировская, Нижегородская, Оренбургская, Пензенская, Самарская, Саратовская, Ульяновская области, Республика Башкортостан, Республика Мордовия, Республика Татарстан)	41	29	2
Южный (Волгоградская, Ростовская области, Краснодарский край, Ставропольский край)	75	14	9
Уральский (Курганская, Свердловская, Тюменская, Челябинская области)	17	12	–
Сибирский (Иркутская, Новосибирская, Омская области, Алтайский край, Красноярский край)	44	26	–
Северо-Западный (Вологодская, Псковская области)	1	1	–
Дальневосточный (Амурская область, Приморский край)	2	1	2
Происхождение не указано	14	6	10
Получено по импорту	–	1	3
Всего	259	148	216

Таблица 2
Микотоксины в зерне пшеницы (обобщенные данные 2009–2019 гг.)

Table 2
Mycotoxins in wheat grain (summary data, 2009–2019)

Токсин	Встречаемость n^+/n (%)	Содержание, мкг/кг				
		диапазон		среднее значение	медиана	90%-й процентиль
		мин.	макс.			
Т-2	83/259 (32,0)	2	225	26	12	48
ДОН	62/259 (23,9)	40	7920	1092	550	3155
ДАС	0/74	–	–	–	–	–
ЗЕН	11/259 (4,2)	10	215	68	40	205
ФУМ	6/165 (3,6)	75	1990	478	150	1200
АОЛ	52/240 (21,7)	11	675	60	32	116
ОА	12/247 (4,9)	4	270	52	8	236
ЦИТ	8/163 (4,9)	24	1000	349	128	853
АВ ₁	0/101	–	–	–	–	–
СТЕ	3/125 (2,4)	4	250	90	–	–
ЦПК	1/132 (1,0)	63	–	–	–	–
МФК	4/151 (2,6)	63	1255	602	545	1179
ЭА	4/121 (3,3)	6	144	43	10	105
ЭМО	56/126 (44,4)	5	706	118	60,5	301

n – число исследованных образцов (number of tested samples);

n^+ – число образцов, содержащих микотоксин (number of mycotoxin-containing samples).

В зерне ячменя наибольшие показатели встречаемости имели Т-2 и ЭМО, умеренные – ДОН, АОЛ и ОА, самые низкие – ЗЕН, ЦИТ, СТЕ, МФК, а ДАС, ФУМ, АВ₁ и ЦПК отсутствовали (табл. 3). Смещение медиан от средних значений к меньшим в два и более раз наблюдалось для всех контаминантов, за исключением АОЛ, а превышение наибольших количеств над пороговыми концентрациями, вычисленными для 90% значений (90%-й процентиль), – у всех, кроме ЭА. При высокой частоте контаминации Т-2 показатель 90%-го процентиля совпадал с границей допустимых содержаний, а наибольшее количество превышало его более чем в 6 раз. Для ДОН и ОА, уступающих по встречаемости, сравнение обоих показателей указывало на реальную возможность сверхнормативной контаминации этого зерна [8]. Более высокая распространенность Т-2 в зерне ячменя по сравнению с зерном пшеницы, а также соответствие показателей встречаемости ДОН и ЗЕН подтверждают данные, описанные ранее [11]. О более выраженной контаминации ОА зерна ячменя (20,4%) в сравнении с зерном пшеницы (4,9%) сообщается впервые.

При анализе 27 образцов зерна овса ДАС, ЗЕН, ФУМ, АВ₁ и ЦПК детектировать не удалось; ОА, ЦИТ, СТЕ, МФК, ЭА были определены в единичных образцах; остальные микотоксины по частоте встречаемости располагались в ряд Т-2 > ЭМО > ДОН > АОЛ (см. рисунок). Предельные количества Т-2 и ДОН, найденные в зерне овса, превышали действующие нормативы [8].

Несмотря на малую выборку и нерегулярное обследование этого зерна по годам, полученные сведения могут

быть полезны для комплексного научного проекта, направленного на изучение зараженности овса токсигенными грибами в регионах интенсивного возделывания этой культуры, в частности в северном Нечерноземье, Приволжском ФО и на других территориях [12, 13]. Кроме того, они представляют несомненную ценность для коневодства, в котором его активно используют из-за высокой питательности и содержания биологически активных веществ, оказывающих стимулирующий эффект на поведенческие реакции лошадей. Ранее при пробной оценке нескольких образцов, предоставленных конноспортивными комплексами и племенными хозяйствами, также была выявлена обширная контаминация Т-2, умеренная – ДОН и АОЛ и редкая – ЗЕН [12].

В зерне кукурузы группа контаминантов оказалась наиболее обширной по составу и не включала только СТЕ. Комплекс анализированных фузариотоксинов представлен полностью с высокой частотой встречаемости Т-2, ДОН и ФУМ и меньшими показателями для ЗЕН и ДАС (табл. 4). Значения наибольших содержаний Т-2, ДОН, ФУМ и ЗЕН в несколько раз превышали уровни их нормирования. Данные о доминирующей роли этих микотоксинов согласуются с ранее сделанным заключением [14] и подтверждают обоснованность их введения в перечень регламентации для зерна кукурузы, поставляемого на кормовые цели [8]. Среди других анализированных метаболитов грибов следует отметить заметный вклад АОЛ и МФК с частотой встречаемости 13,3 и 8,6% и максимальными уровнями 295 и 397 мкг/кг соответственно. Микотоксины ОА, ЦИТ и ЭМО выявляли редко,

Таблица 3
Микотоксины в зерне ячменя (обобщенные данные 2009–2019 гг.)

Table 3
Mycotoxins in barley grain (summary data, 2009–2019)

Токсин	Встречаемость n^+/n (%)	Содержание, мкг/кг				
		диапазон		среднее значение	медиана	90%-й процентиль
		мин.	макс.			
Т-2	105/148 (70,9)	4	660	48	25	100
ДОН	35/148 (23,6)	50	7060	654	130	2380
ДАС	0/60	–	–	–	–	–
ЗЕН	2/148 (1,4)	100	1250	675	–	–
ФУМ	0/67	–	–	–	–	–
АОЛ	29/137 (21,2)	5	397	85	71	141
ОА	29/142 (20,4)	4	250	23	5	71
ЦИТ	5/137 (3,6)	30	1120	300	146	734
АВ ₁	0/69	–	–	–	–	–
СТЕ	2/107 (1,9)	10	40	25	–	–
ЦПК	0/92	–	–	–	–	–
МФК	1/106 (1,0)	334	–	–	–	–
ЭА	4/94 (4,3)	5	164	49	14	120
ЭМО	68/94 (72,3)	13	1400	205	101	495

n – число исследованных образцов (number of tested samples);
 n^+ – число образцов, содержащих микотоксин (number of mycotoxin-containing samples).

в содержаниях не более 50 мкг/кг, а АВ₁, ЦПК и ЭА – лишь в единичных случаях.

Обобщение и подробный анализ результатов исследования контаминации санитарно-значимыми микотоксинами зерна пшеницы, ячменя, овса и кукурузы в период с 2009 по 2019 г. проведены в этой работе впервые. Для зерна кукурузы получено подтверждение доминирующей роли фузариотоксинов с возможностью высоких уровней накопления, а также факта сочетанной контаминации с участием всех компонентов этого комплекса. Установлена значительная распространенность ЭМО в зерне колосовых культур, которая, по-видимому, является основным источником его попадания в комбикорма (см. сообщение 1). Роль этого вторичного метаболита в растениях пока не совсем ясна и активно обсуждается в научной литературе [15]. К числу санитарно-значимых для всех видов зернофуража отнесен АОЛ, токсин с генотоксическим действием, а для зерна кукурузы – МФК, известная как высокоактивный иммунодепрессант.

Исходные данные мониторинга с указанием региона, территории и дат сбора образцов представлены в электронном виде в разделе «Дополнительные материалы» по адресу: <http://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-2-33-139-145>. Возможность пополнения и доступность такой базы позволяет проводить любые варианты выборочной обработки, в том числе по видам зерна, отдельной и сочетанной встречаемости микотоксинов, а также по региональному и территориальному признаку. В последние годы отмечены частые

случаи совместного обнаружения ДОН и ЗЕН в зерне пшеницы [11], а также Т-2 совместно с ДАС в зерне кукурузы [14]. Сведения, полученные для конкретных территорий, открывают уникальную возможность прогнозирования рисков контаминации в конкретных ареалах с учетом почвенно-климатических и хозяйственных факторов, способных определять микотоксикологическую ситуацию из-за влияния на условия роста, конкурентные взаимодействия и токсинообразование микроскопических грибов [16–18].

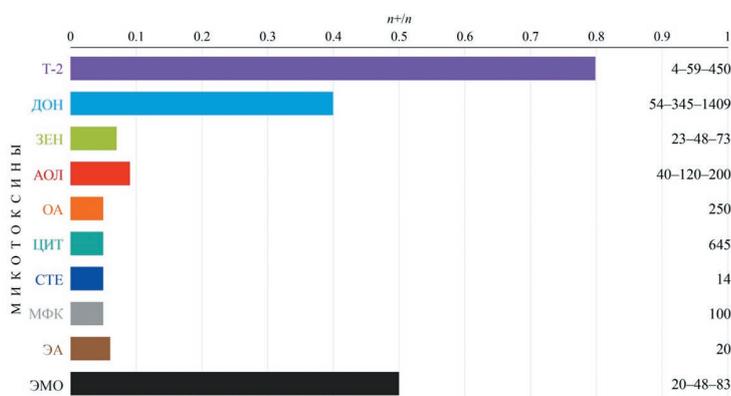


Рис. Встречаемость (n^+/n) и содержание микотоксинов (мкг/кг, мин. – среднее – макс.) в зерне овса (обобщенные данные)

Fig. Mycotoxin occurrence (n^+/n) and content ($\mu\text{g}/\text{kg}$, min – mean – max) in oat grain (summarized data)

Таблица 4
Микотоксины в зерне кукурузы (обобщенные данные 2009–2019 гг.)

Table 4
Mycotoxins in maize grain (summarized data, 2009–2019)

Токсин	Встречаемость n ⁺ /n (%)	Содержание, мкг/кг				
		диапазон		среднее значение	медиана	90%-й процентиль
		мин.	макс.			
Т-2	203/216 (94,0)	2	1040	151	120	310
ДОН	154/216 (71,3)	50	6590	740	382,5	1963
ДАС	10/59 (17,0)	50	250	122	92,5	205
ЗЕН	50/216 (23,2)	20	4455	345	55,5	674
ФУМ	167/216 (77,3)	50	15 800	1334	500	3152
АОЛ	21/158 (13,3)	20	295	71	57	140
ОА	4/164 (2,4)	5	16	10	–	–
ЦИТ	3/141 (2,1)	20	40	27	–	–
АВ ₁	1/113 (1,0)	16	–	–	–	–
СТЕ	0/112	–	–	–	–	–
ЦПК	1/75 (1,3)	126	–	–	–	–
МФК	8/93 (8,6)	25	397	158	100	345
ЭА	1/67 (1,5)	6	–	–	–	–
ЭМО	2/74 (2,7)	25	45	35	–	–

n – число исследованных образцов (number of tested samples);

n⁺ – число образцов, содержащих микотоксин (number of mycotoxin-containing samples).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе обширного мониторинга, проведенного в режиме ежегодного сбора данных за 2009–2019 гг., установлены общие черты и особенности контаминации микотоксинами зерна пшеницы, ячменя, овса и кукурузы. Полученные результаты подтвердили актуальность регулярной оценки его загрязненности фузариотоксинами и охратоксином А. Для зерна рекомендовано расширение перечня санитарно-значимых показателей введением в их число эмодаина, токсина антрахинонового ряда, известного как «диарейный фактор», а также альтернариола, цитринина и микофеноловой кислоты с особо опасными формами токсического действия и негативными отдаленными последствиями. Полученная информация может быть востребована для оценки общей ситуации в сфере агропроизводства, обоснования критериев регламентации микотоксинов в зерне и совершенствования системы контроля зернопродукции.

Дополнительные материалы к этой статье (учетные формы с базой данных) можно найти по адресу: <http://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-2-33-139-145>.

Additional materials to the paper (records forms with database) can be found at: <http://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-2-33-139-145>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (п. п. 2, 15, 16, 18 см. REFERENCES)

1. Микотоксины и микотоксикозы. Под ред. Д. Диаза. М.: Печатный город; 2006. 382 с.
3. Леонов А. Н., Малиновская Л. С., Соболева Н. А., Кононенко Г. П., Зелкова Н. Г. Совершенствование ветеринарно-санитарных мер по профилактике фузариотоксикозов у сельскохозяйственных животных. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1990; 10: 73–78.
4. Кононенко Г. П., Буркин А. А., Соболева Н. А. Потенциал токсинообразования основных возбудителей фузариоза колоса. *Успехи медицинской микологии (Материалы II Всероссийского конгресса по медицинской микологии)*. М.: Национальная академия микологии; 2004; 3: 266–269. eLIBRARY ID: 25485175.
5. Кононенко Г. П., Буркин А. А. О контаминации фузариотоксинами зерна злаков, используемых на кормовые цели. *Сельскохозяйственная биология*. 2009; 4: 81–88. Режим доступа: <http://www.agrobiology.ru/4-2009kononenko.html>.
6. Кононенко Г. П., Буркин А. А. Контаминация фузариотоксинами зерна кукурузы и риса на основных территориях возделывания культур в Российской Федерации. *Сельскохозяйственная биология*. 2008; 5: 88–91. Режим доступа: <http://www.agrobiology.ru/5-2008kononenko.html>.
7. Буркин А. А., Кононенко Г. П., Соболева Н. А. Контаминация зерновых кормов охратоксином А. *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2005; 2: 47–49. eLIBRARY ID: 18006839.
8. ТР ТС 015/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности зерна» (с изменениями на 15 сентября 2017 года): утв. решением Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011. № 874. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902320395>.
9. ГОСТ 31653-2012 Корма. Метод иммуноферментного определения микотоксинов. М.: Стандартинформ; 2012. 11 с.
10. Рекомендации по микотоксикологическому контролю кормов для сельскохозяйственных животных: утв. Минсельхозом России № 25/3098 13.10.2014.

11. Кононенко Г. П., Буркин А. А., Зотова Е. В., Устюжанина М. И., Смирнов А. М. Особенности контаминации зерна пшеницы и ячменя фузариотоксинами. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2018; 1: 17–21. eLIBRARY ID: 35259100. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_35259100_14251382.pdf.

12. Гаврилова О. П., Гагкаева Т. Ю., Буркин А. А., Кононенко Г. П. Загрязненность грибами рода *Fusarium* и контаминация микотоксинами зерна овса и ячменя на севере Нечерноземья. *Сельскохозяйственная биология*. 2009; 6: 89–93. Режим доступа: <http://www.agrobiology.ru/6-2009gavrilova.html>.

13. Буркин А. А., Кононенко Г. П., Гаврилова О. П., Гагкаева Т. Ю. Микотоксикологическое обследование зерна овса и продуктов его переработки. *Современная микология в России: материалы III Международного микологического форума (14–15 апреля 2015 г.)*. Под ред. Ю. Т. Дьякова, Ю. В. Сергеева. М.: Нац. акад. микол.; 2015; 5: 221–223. Режим доступа: <http://www.mycology.ru/files/cmr2015vol5.pdf>.

14. Кононенко Г. П., Буркин А. А., Зотова Е. В., Смирнов А. М. Микотоксикологическое исследование кормового зерна кукурузы (1998–2018 гг.). *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019; 3: 28–31. DOI: 10.31857/S2500-26272019328-31.

17. Омельченко М. Д., Жердев А. В., Николаев И. В., Жалиева Л. Д., Буханистая Г. Ф., Баттилли П., Дзантиев Б. Б. Оценка влияния агро-технических и метеорологических факторов на загрязнение зерна фузариотоксинами в агроценозах пшеницы из разных климатических зон РФ. *Аграрная Россия*. 2013; 1: 2–9. DOI: 10.30906/1999-5636-2013-1-2-9.

REFERENCES

1. Mycotoxins and mycotoxicoses [Mikotoksiny i mikotoksikozy]. Ed. by D. Diaz. M.: Pechatny Gorod; 2006. 382 p. (in Russian)

2. Kotowicz N. K., Frac M., Lipiec J. The importance of *Fusarium* fungi in wheat cultivation – pathogenicity and mycotoxin production: A review. *J. Anim. Plant Sci.* 2014; 21 (2): 3326–3343. Available at: http://www.m.elewa.org/JAPS/2014/21_2/3BLOCKED.pdf.

3. Leonov A. N., Malinovskaya L. S., Sobolova N. A., Kononenko G. P., Zerkova N. G. Improvement of veterinary and sanitary measures for the prevention of fusariotoxicosis in farm animals [Sovershenstvovanie veterinarno-sanitarnykh mer po profilaktike fuzariotoksikozov u sel'skhozaystvennykh zhivotnykh]. *Vestnik sel'skhozaystvennoy nauki*. 1990; 10: 73–78. (in Russian)

4. Kononenko G.P., Burkin A.A., Soboleva N.A. Toxin production potential of the main causal agents of fusarium head blight [Potencial toksinoobrazovaniya osnovnykh vozбудitelej fuzarioza kolosa]. *Advances in Medical Mycology (Proceedings of the II All-Russia Congress on medical mycology)*. M.: National Academy of Mycology; 2004; 3: 266–269. eLIBRARY ID: 25485175. (in Russian)

5. Kononenko G. P., Burkin A. A. About fusariotoxins contamination of cereals used for fodder. *Agricultural Biology [Sel'skokhozyaistvennaya biologiya]*. 2009; 4: 81–88. Available at: <http://www.agrobiology.ru/4-2009kononenko.html>. (in Russian)

6. Kononenko G. P., Burkin A. A. Fusariotoxins content in maize and rice grain harvested in the main regions of cultivation in the Russian Federation. *Agricultural Biology [Sel'skokhozyaistvennaya biologiya]*. 2008; 5: 88–91. Available at: <http://www.agrobiology.ru/5-2008kononenko.html>. (in Russian)

7. Burkin A. A., Kononenko G. P., Soboleva N. A. Contamination of grain feeds ochratoxin A. *Russ. Agricult. Sci.* 2005; 2: 47–49. eLIBRARY ID: 18006839. (in Russian)

8. TR CU 015/2011 Technical Regulation of the Customs Union on Safety of Grain (as amended on September 15, 2017): approved by the Customs Union Decision No. 874 of 9 December 2011. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902320395>. (in Russian)

9. GOST 31653-2012 Feed. Immunoenzyme method for mycotoxin detection. M.: Standardinform; 2012. 11 p. (in Russian)

10. Recommendations on mycotoxicological control of feed for livestock animals [Rekomendacii po mikotoksikologicheskomu kontrolyu kormov dlya sel'skhozaystvennykh zhivotnykh]: approved by the Ministry of Agriculture of the Russian Federation No. 25/3098 of 13 October 2014. (in Russian)

11. Kononenko G. P., Burkin A. A., Zotova E. V., Ustyuzhanina M. I., Sмирнов А. М. Features of wheat and barley grain contamination with fusariotoxins. *Russ. Agricult. Sci.* 2018; 44: 137–141. DOI: 10.3103/S106836741802009X.

12. Gavrilova O. P., Gagkaeva T. Yu., Burkin A. A., Kononenko G. P. Mycological infection by *Fusarium* strains and mycotoxins contamination of oats and barley in the north of Nonchernozem'e. *Agricultural Biology [Sel'skokhozyaistvennaya biologiya]*. 2009; 6: 89–93. Available at: <http://www.agrobiology.ru/6-2009gavrilova.html>. (in Russian)

13. Burkin A. A., Kononenko G. P., Gavrilova O. P., Gagkaeva T. Yu. Mycotoxicological survey of oat and its processed products [Mikotoksikologicheskoe obsledovanie zerna ovsa i produktov ego pererabotki]. *Current Mycology in Russia: Proceeding of the III International Mycological Forum (April 14–15, 2015)*. Ed. By Yu. T. Dyakov, Yu. V. Sergeev. M.: National Academy of Mycology; 2015; 5: 221–223. Available at: <http://www.mycology.ru/files/cmr2015vol5.pdf>. (in Russian)

14. Kononenko G. P., Burkin A. A., Zotova E. V., Sмирнов А. М. Mycotoxicological study of feed corn grain (1998–2018). *Russ. Agricult. Sci.* 2019; 3: 28–31. DOI: 10.31857/S2500-26272019328-31. (in Russian)

15. Izhaki I. Emodin – a secondary metabolite with multiple ecological functions in higher plants. *New Phytologist*. 2002; 155 (2): 205–217. DOI: 10.1046/j.1469-8137.2002.00459.x.

16. Grenier B., Oswald I. P. Mycotoxin co-contamination of food and feed: Meta-analysis of publication describing toxicological interactions. *World Mycotoxin J.* 2011; 4 (3): 285–313. DOI: 10.3920/WMJ2011.1281.

17. Omelchenko M. D., Zherdev A. V., Nikolaev I. V., Zhalieva L. D., Bуханистая Г. Ф., Баттилли П., Дзантиев Б. Б. Assessment of the influence of agricultural and meteorological factors on contamination of grain by fusariotoxins in wheat agroecosystems from different climatic zones of the Russian Federation. *Аграрная Россия*. 2013; 1: 2–9. DOI: 10.30906/1999-5636-2013-1-2-9. (in Russian)

18. Vogelgsang S., Musa T., Bänziger I., Kägi A., Bucheli T. D., Wettstein F. E., et al. *Fusarium* mycotoxins in Swiss wheat: A survey of grower's samples between 2007 and 2014 shows strong year and minor geographic effects. *Toxins*. 2017; 9 (8):246. DOI: 10.3390/toxins9080246.

Поступила 27.04.2020

Принята в печать 19.05.2020

Received on 27.04.2020

Approved for publication on 19.05.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кононенко Галина Пантелеевна, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией микотоксикологии и санитарии кормов ВНИИВСГЭ – филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН, г. Москва, Россия.

Буркин Алексей Анатольевич, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник ВНИИВСГЭ – филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН, г. Москва, Россия.

Зотова Елена Владимировна, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник ВНИИВСГЭ – филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН, г. Москва, Россия.

Galina P. Kononenko, Doctor of Science (Biology), Professor, Head of Laboratory for Mycotoxicology and Feed Hygiene, ARRIVSHE – Branch of the FSFSI FSC ARRIEVM RAS, Moscow, Russia.

Alexey A. Burkin, Candidate of Science (Medicine), Leading Researcher, ARRIVSHE – Branch of the FSFSI FSC ARRIEVM RAS, Moscow, Russia.

Yelena V. Zotova, Candidate of Science (Veterinary Medicine), Senior Researcher, ARRIVSHE – Branch of the FSFSI FSC ARRIEVM RAS, Moscow, Russia.