

УДК 664.664.9

Научный обзор



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-390-01-121-129

И.В. Калинина ✉

И.Ю. Потороко

А.А. Руськина

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

✉ kalininaiv@susu.ru

Поступила в редакцию: 09.11.2024

Одобрена после рецензирования: 12.12.2024

Принята к публикации: 27.12.2024

© Калинина И.В., Потороко И.Ю., Руськина А.А.

Review



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-390-01-121-129

Irina V. Kalinina ✉

Irina Yu. Potoroko

Alena A. Ruskina

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

✉ kalininaiv@susu.ru

Received by the editorial office: 09.11.2024

Accepted in revised: 12.12.2024

Accepted for publication: 27.12.2024

© Kalinina I.V., Potoroko I.Yu., Ruskina A.A.

Микотоксины в пищевых системах: механизмы деградации для обеспечения эффективности нетепловых воздействий обеззараживания

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Микотоксины представляют собой структурно разнообразную группу преимущественно низкомолекулярных соединений, вырабатываемых плесневыми грибами. Загрязненное микотоксинами продовольственное сырье и продукты питания представляют серьезную угрозу для обеспечения продовольственной безопасности, поскольку микотоксины способны вызывать острые или хронические отравления. По этой причине критическую актуальность приобретает поиск эффективных методов детоксикации пищевых систем от микотоксинов, потенциально масштабируемых в реальных производственных условиях. Вместе с тем детоксикация микотоксинов представляет собой многоаспектную задачу, решение которой предполагает системное понимание комплекса факторов.

Цели исследования — сбор, анализ и систематизация научных данных в области основных видов загрязнителей продовольственного сырья из класса микотоксинов, их потенциальной опасности; раскрытие возможных механизмов деградации микотоксинов при воздействии нетепловых факторов.

Методы. Аналитический анализ научных публикаций по теме исследования выполнен с использованием баз Elibrary и Sciencedirect по различным поисковым запросам за 2020–2025 гг.

Результаты. Результаты проведенного анализа показали, что в научной литературе представлено огромное количество исследований, убедительно доказывающих высокий уровень токсичности микотоксинов, которые наиболее распространены в продовольственном сырье и пищевых продуктах. Такие микотоксины, как афлатоксины, дезоксиниваленол, зеараленон, охратоксины, фумонизины, ниваленол, энниатин, Т-2, HT-2 и патулин, могут вызывать хроническую или острую токсичность у животных и людей, включая гепатотоксичность, нефротоксичность, канцерогенность, нейротоксичность, иммунотоксичность, тератогенность и мутагенность. Поиск эффективных и масштабируемых методов обеззараживания пищевых систем от микотоксинов преимущественно сосредоточен в области использования нетеплового воздействия. Среди таких методов наиболее перспективным признается холодное плазменное воздействие. Существенное количество исследований доказывает способность холодной плазмы разрушать до 100% микотоксинов в загрязненных пищевых системах.

Ключевые слова: микотоксины, методы обеззараживания, холодная плазма, механизмы детоксикации

Для цитирования: Калинина И.В., Потороко И.Ю., Руськина А.А. Микотоксины в пищевых системах: механизмы деградации для обеспечения эффективности нетепловых воздействий обеззараживания. *Аграрная наука*. 2025; 390(01): 121–129.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-390-01-121-129>

Mycotoxins in food systems: degradation mechanisms for effective non-thermal disinfection

ABSTRACT

Relevance. Mycotoxins are a structurally diverse group of predominantly low-molecular-weight compounds produced by molds. Mycotoxin-contaminated food raw materials and products pose a serious threat to food security, as mycotoxins can cause acute or chronic poisoning. Therefore, the search for effective methods of detoxifying food systems from mycotoxins, with the potential for scalability in real production conditions, is of critical importance. However, detoxification of mycotoxins is a multifaceted challenge, requiring a systematic understanding of a range of factors.

The objectives of the study are to collect, analyze and systematize scientific data in the field of the main types of pollutants of food raw materials from the class of mycotoxins, their potential danger; disclosure of possible mechanisms of degradation of mycotoxins under the influence of non-thermal factors.

Methods. The analytical analysis of scientific publications on the research topic was performed using the Elibrary and Sciencedirect databases for various search queries for 2020–2025.

Results. The analysis revealed a vast body of scientific literature demonstrating the high toxicity levels of mycotoxins commonly found in food raw materials and products. Mycotoxins such as aflatoxins, deoxynivalenol, zearalenone, ochratoxins, fumonisins, nivalenol, enniatin, T-2, HT-2 and patulin can cause chronic or acute toxicity in animals and humans, including hepatotoxicity, nephrotoxicity, carcinogenicity, neurotoxicity, immunotoxicity, teratogenicity and mutagenicity. The search for effective and scalable methods of decontaminating food systems from mycotoxins has primarily focused on non-thermal methods, with cold plasma treatment recognized as the most promising. A significant number of studies have shown that cold plasma can destroy up to 100% of mycotoxins in contaminated food systems.

Key words: mycotoxins, disinfection methods, cold plasma, detoxification mechanisms

For citation: Kalinina I.V., Potoroko I.Yu., Ruskina A.A. Mycotoxins in food systems: degradation mechanisms for effective non-thermal disinfection. *Agrarian science*. 2025; 390(01): 121–129 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-390-01-121-129>

Введение/Introduction

Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации на ближайшее десятилетие в совокупности больших вызовов включает потребность в обеспечении продовольственной безопасности и продовольственной независимости России, конкурентоспособности отечественной сельскохозяйственной продукции на мировых рынках продовольствия, снижение технологических рисков в агропромышленном комплексе на фоне глобального продовольственного кризиса (Указ Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 года № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации»¹).

Согласно Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, ключевой целью развития сельского хозяйства является создание высокопроизводительного сектора, базирующегося на основе современных технологий и обеспеченного научными разработками. Достижение поставленных целей требует тщательного изучения имеющегося научно-технологического задела, его применимости в реальном секторе АПК [1–4].

Среди факторов, сопутствующих снижению качества продовольственного сырья, возникновению рисков потери безопасности, можно выделить изменение климата и влияние возникающих последствий его изменения, в частности накопления вторичных высокотоксичных метаболитов токсигенных плесеней [5–8]. В этом ключе возрастает роль научного развития в области создания технологий обеззараживания продукции растениеводства за счет использования высокоэффективных методов деконтаминации и получения, таким образом, безопасных сырьевых ресурсов, пригодных для переработки в пищевых целях [9–12].

Ключевым фактором эффективного поиска воздействующих факторов для технологий обеззараживания является системный подход, включающий в себя понимание структуры и свойств отдельных механизмов, возможных механизмов их деградации, оценку степени токсичности продуктов распада, установление роли каждого из режимных составляющих этого воздействия на эффективность процессов деградации [13–16].

Цели исследования — сбор, анализ и систематизация научных данных в области основных видов загрязнителей продовольственного сырья из класса микотоксинов, их потенциальной опасности, раскрытие возможных механизмов деградации микотоксинов при воздействии нетепловых факторов.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Аналитический анализ научных публикаций по теме исследования выполнен по методике К. Око-ли для статей на английском и русском языках [17].

Были использованы две реферативные базы данных — «Научная электронная библиотека eLibrary. Ru» и Sciencedirect.

Период обзора — 2020–2025 гг.

Запросы осуществляли по ключевым словам: микотоксин(ы, ов), методы обеззараживания (деградации) (от) микотоксинов, механизмы деградации (разрушения) микотоксинов.

Следует отметить, что количество научных публикаций в базе данных Sciencedirect, найденных по каждому из поисковых запросов, существенно превышает количество научных публикаций в реферативной базе eLibrary. На поисковый запрос «механизмы деградации (разрушения) микотоксинов» публикаций по типу научных статей в базе eLibrary найдено не было.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

1. Общее представление о микотоксинах и их токсичности

Данные ФАО ВОЗ показывают, что примерно 14% всех производимых продуктов питания теряются до момента их поступления конечному потребителю по причине загрязнения ксенобиотиками. Плесневая микрофлора и вырабатываемые вторичные метаболиты (микотоксины) являются причиной потери до 30% продукции растениеводства вследствие ее высокой токсичности [4, 18]. Усугубить ситуацию может наблюдаемое в последние годы изменение климата, которое создает условия для увеличения количества зерновых культур, пораженных опасными микромицетами, и, как следствие, возникновения и распространения продуцируемых микотоксинов [13, 19].

Микотоксины — термин, который используется для обозначения широкого круга вредных веществ, вырабатываемых плесневыми грибами. Это большое разнообразие естественных вторичных метаболитов, продуцируемых такими нитчатыми грибами, как *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* и *Claviceps* [7, 20].

Микотоксины являются наиболее токсичными химическими веществами, содержащимися в продуктах питания и кормах, представляющими наибольшую угрозу для здоровья человека и животных. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации (ФАО) ООН, микотоксины можно обнаружить примерно в 25% мирового урожая сельскохозяйственных культур [21–23]. Эти токсины сохраняются в продуктах питания даже после термических методов обработки благодаря их химической стабильности и устойчивости к разложению.

Таким образом, микотоксины представляют собой глобальную проблему из-за их широкого распространения и выраженной токсичности.

К основным распространенным микотоксинам относятся известные формы: афлатоксины,

¹ URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402280003>

дезоксиниваленол, зеараленон, охратоксин А, фумонизины, ниваленол, энниатин, Т-2, НТ-2 и патулин [4, 14, 24]. Следует отметить, что молекулярное строение и свойства этих соединений в значительной степени различны. Обобщенная характеристика наиболее распространенных видов микотоксинов представлена в таблице 1.

Помимо известных, сегодня выделяют группу новых форм микотоксинов [25] (молекулярная структура некоторых из них представлена на рис. 1).

Многочисленные исследования показали, что микотоксины могут вызывать хроническую или острую токсичность у животных и людей, включая кишечную токсичность, гепатотоксичность, нефротоксичность, эстрогенные свойства, канцерогенность, нейротоксичность, иммунотоксичность, тератогенность и мутагенность [30–32].

В этом ключе существенно возрастает актуальность поиска методов детоксикации продовольственного сырья и продуктов питания от загрязнения микотоксинами.

2. Современные подходы к детоксикации микотоксинов

Возможность эффективной детоксикации микотоксинов зараженного продовольственного сырья в процессе его переработки имеет колоссальное значение для обеспечения безопасности пищевых продуктов [21].

Среди известных на сегодняшний день методов можно выделить: группу физических методов, таких как микроволновое излучение, обработка высоким давлением и импульсным светом; группу химических методов, таких как использование окислителей, антибиотиков и органических кислот; группу биологических методов, таких как использование ферментных препаратов и растительных экстрактов [13].

Поскольку химические и биологические методы детоксикации микотоксинов в большинстве своем оказывают существенное влияние на органолептические свойства готовых продуктов и их пищевую ценность, то их использование в пищевых производствах нежелательно, а иногда просто не

Таблица 1. Характеристика наиболее распространенных микотоксинов: молекулярная структура, продуценты, токсичные свойства [26–31]
Table 1. Characteristics of the most common mycotoxins: molecular structure, producers, toxic properties [26–31]

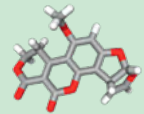
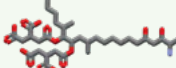
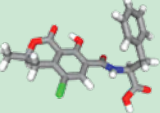
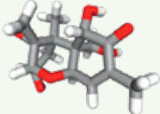
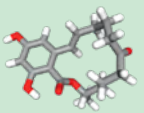
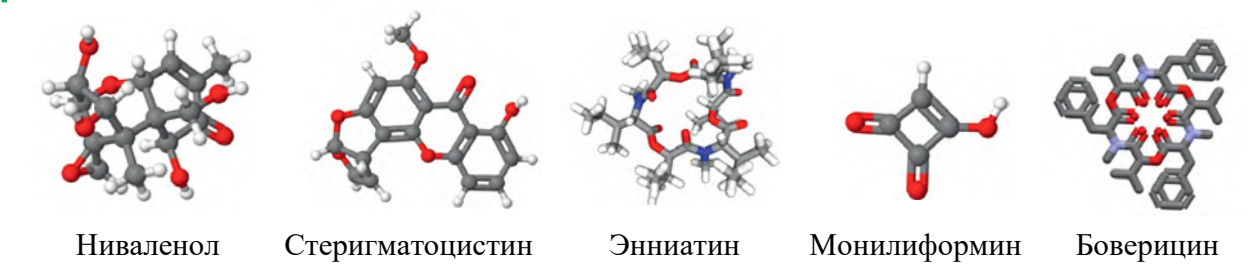
Микотоксины	Молекулярная структура	Род (виды) плесневых грибов-продуцентов	Основные контаминируемые продукты питания	Вызываемые токсические эффекты и заболевания	Источник литературы
Афлатоксин		<i>Aspergillus flavus</i> <i>A. parasiticus</i> <i>A. nomius</i> <i>Penicillium</i>	Зерновые, корма, масличные семена и мякоть, кокос	Канцерогенность, гепатотоксичность, тератогенность, угнетение иммунной системы, изменение структуры ДНК, гепатит, кровотечения, поражения почек	Dhakal <i>et al.</i> , 2023
Фумонизин		<i>Fusarium</i> <i>Verticillium</i> <i>F. culmorum</i>	Зерновые, кукуруза	Энцефаломалация человека, отек легких, канцерогенность, нейротоксичность, поражение печени, сердечная недостаточность, рак пищевода	Khan <i>et al.</i> , 2021
Охратоксин		<i>Aspergillus</i> <i>Penicillium</i> <i>A. ochraceus</i> <i>P. nordicum</i> <i>P. verrucosum</i>	Злаки, травы, масличные культуры, инжир, вяленая говядина, фрукты и вино	Поражение почек и печени, потеря аппетита, тошнота и рвота, угнетение иммунной системы, канцерогенные	Ding <i>et al.</i> , 2023
Дезоксиниваленол		<i>Fusarium</i> <i>Cephalosporium</i> <i>Trichoderma</i> <i>Fusarium oxysporum</i>	Зерновые, корма, силос, бобовые, фрукты и овощи	Иммунная супрессия, цитотоксичность, некроз кожи, кровоизлияния, анемия, гранулоцитопения, эпителиальные поражения полости рта, поражения ГИС, кроветворная, алиментарно-токсическая алейкия (АТА), гипотензия, коагулопатия	Gab-Allah <i>et al.</i> , 2023; Payros <i>et al.</i> , 2016
Зеараленон		<i>Fusarium</i> <i>F. graminearum</i> <i>F. culmorum</i>	Зерновые, кукуруза, силос, тимopheвка, корма	канцерогенный, гормональный дисбаланс, эстрогенный эффект, репродуктивные проблемы, тератогенный	Ropejko K. <i>et al.</i> (2021)

Рис. 1. Химическая структура новых форм микотоксинов
Fig. 1. Chemical structure of new forms of mycotoxins



разрешено. В этих условиях физические методы детоксикации микотоксинов являются наиболее предпочтительными для пищевой отрасли.

Важной мерой по снижению загрязнения микотоксинами в пищевой промышленности остается термическая обработка [33]. С помощью тепловых технологий можно достичь более низких уровней микотоксинов, тем самым обеспечивая ее безопасность. Обратная сторона термической обработки — потеря пищевой ценности продовольственных ресурсов и существенное изменение органолептических свойств готовой продукции.

В отличие от термических методов, преимущество нетермических технологий обусловлено их способностью обеспечивать эффекты детоксикации при относительно низких температурах во время обработки, снижая значительные изменения качества пищевых продуктов, которые могут вызывать высокие температуры [23, 34].

Сводный анализ нетермических методов детоксикации представлен в таблице 2.

В последнее время из всех физических методов именно атмосферная холодная плазма привлекает всё большее внимание тем, что проявляет эффективность в отношении инактивации как плесневых грибов, продуцирующих микотоксины, препятствуя их дальнейшему биосинтезу, так и разрушая сами микотоксины, которые уже накопились [25, 29].

Нетепловые эффекты атмосферной холодной плазмы являются перспективной новой технологией для промышленного применения, но требуют дополнительного исследования в части установления механизмов разрушающего воздействия на микотоксины.

3. Холодная плазма: общая характеристика и сущность воздействия

Технологии обработки сырья ионизирующими и неионизирующими излучениями высокой эффективности применяются в пищевой промышленности в большей части для инактивации патогенных микроорганизмов [17, 21].

Плазма, которую часто определяют как четвертое состояние вещества, образуется при столкновении нейтральных атомов и ионизации, что приводит к образованию электронов, положительно заряженных ионов, свободных радикалов и нейтральных частиц [13]. Доказано, что плазма индуцируется с помощью нескольких газов — от окружающего воздуха (атмосферной плазмы), кислорода и азота до благородных газов, таких как гелий, аргон и их комбинации. Плазма может быть получена с использованием нескольких конфигураций оборудования, включая реакторы с коронным разрядом, плазменной струей, скользящим дуговым разрядом и диэлектрическим барьерным разрядом [20].

В частности, атмосферная холодная плазма — это ионизированный газ, богатый ионами, электронами, ультрафиолетовым излучением, свободными радикалами, активными формами кислорода и азота и другими химическими активными веществами, которые и формируют нетермическое обеззараживание пищевых продуктов от токсигенных плесеней и продуцируемых ими микотоксинов [38, 39].

Ключевыми наиболее привлекательными аспектами холодного плазменного воздействия являются:

- (1) применение относительно низкого напряжения,
- (2) высокоэффективное производство реакционноспособных веществ,
- (3) высокая плотность микроразрядов,
- (4) работа в окружающем воздухе без необходимости примеси благородных газов [40–42].

4. Гипотезы о механизмах дезинтегрирующего действия атмосферной холодной плазмы на микотоксины (на примере афлатоксина В1)

Первое сообщение о пригодности холодной плазмы для разрушения микотоксинов было опубликовано Park *et al.* (2007), где афлатоксин В1 и дезоксиниваленон на стеклянной подложке полностью разлагались под действием атмосферного

Таблица 2. Общая характеристика физических методов детоксикации микотоксинов [20, 35–37]

Table 2. General characteristics of physical methods of mycotoxin detoxification [20, 35–37]

Метод детоксикации	Механизмы обеззараживания	Преимущества	Недостатки	Источник литературы
Микроволновое излучение	Микроволновый нагрев разрушает структуру микотоксинов	Высокая скорость нагрева	Слабое проникновение излучения и неравномерное распределение тепла	Pankaj <i>et al.</i> , 2018
Ультразвуковое воздействие	Кавитация разрывает химические связи молекул микотоксинов	Широкий спектр применения, может использоваться в синергии с другими методами, без токсичных побочных продуктов	Невысокий уровень детоксикации	Liu <i>et al.</i> , 2019
УФ-излучение	УФ-излучение может разрушить фурановое кольцо	Широкий спектр применения, низкая стоимость, простота в эксплуатации	Низкая проникающая способность и возможная токсичность остаточных продуктов распада	Pankaj <i>et al.</i> , 2018
Импульсный свет	Токсический участок микотоксинов может быть уничтожен	Высокая эффективность, широкий диапазон применения	Способность к обеззараживанию ограничена при высоком уровне загрязнения	Pinela <i>et al.</i> , 2017
Холодная плазма	Токсический участок микотоксинов может быть уничтожен	Экологичность, эффективность, простота в эксплуатации, широкий спектр применения, низкое влияние на качество продуктов питания	Достаточно дорогостоящее оборудование, высокое энергопотребление	Xiang <i>et al.</i> , 2021

аргонового микроволнового разряда плазмы менее чем за 5 сек. [41].

Холодная плазма представляет собой ионизированный мощным электрическим полем газ (чаще всего аргон или воздух) с температурой 20–40 °C. Некоторые исследования подтверждают, что холодная плазма эффективна для разрушения микотоксинов, в частности зеараленона и дезоксиниваленола [42]. L. Ten Bosch *с соавт.* изучил действие холодной плазмы на основе воздуха при атмосферном давлении и установил, что под ее воздействием происходит деградация многих микотоксинов, в том числе зеараленона, дезоксиниваленола, фумонизина B1, T-2 токсина [43].

Исследователям под руководством X. Wang удалось добиться полной деградации микотоксинов, продуцируемых грибами *Alternaria*, в результате обработки холодной плазмой на основе воздуха в течение 5 мин. [44].

В настоящее время в литературе представлено достаточно большое количество подтверждений эффективности холодной плазмы в отношении

деградации микотоксинов [14, 24, 42, 45–48]. Эффективность разрушения описывается в среднем диапазоном значений 65–100%.

Ключевыми факторами, определяющими конечную эффективность процесса детоксикации, являются вид плазменного воздействия, режимы обработки и структура самого микотоксина (рис. 2).

Несмотря на понимание роли отдельных факторов воздействия холодной плазмы на микотоксины, малоизученной остается область механизмов разрушающего действия холодной плазмы. В литературе представлено крайне мало исследований, раскрывающих пути деградации микотоксинов, оценку токсичности продуктов разрушения микотоксинов. Это информационное поле исследований представляет огромный интерес, поскольку установление механизмов деградации крайне необходимо для прорыва в методах обеззараживания продовольственного сырья и продуктов питания с применением холодной плазмы.

В открытой литературе представлено крайне незначительное количество исследований, описывающих механизмы дезинтегрирующего действия холодной плазмы на микотоксины, преимущественно в форме гипотез.

Так, согласно Wang *et al.* [22] и Hojnik *et al.* [49], у которых были сформированы различные предположения о пути деградации афлатоксина B1, ключевая роль в этом процессе всё же разрыву двойной связи C8 = C9 на фурановом кольце и образованию продуктов, менее токсичных, чем афлатоксин B1 (рис. 3).

Поскольку основной причиной деградации афлатоксина B1 было участие $O\cdot$, $H\cdot$ и $OH\cdot$, то основная гипотеза механизма разрушающего действия базируется на ключевой роли в этом процессе свободных радикалов, а меньшая токсичность продуктов деградации указывает на то, что за токсичность афлатоксина B1 ответственно именно фурановое кольцо.

Вместе с тем Wang *et al.* [22] предположили, что продукт распада афлатоксина B1 образуется в результате расщепления фуранового кольца, тогда как Hojnik *et al.* [49] описывают возможное выделение водорода из связи C-H в C8 = C9 с образованием нестабильного 8,9-дигидро как промежуточного соединения с дальнейшей перестройкой электронов и формированием двойной связи между

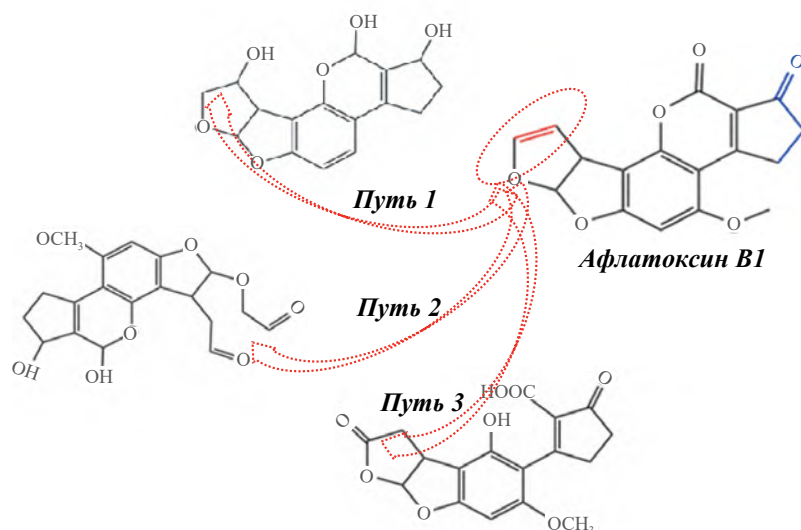
Рис. 2. Факторы, определяющие эффективность холодной плазмы для детоксикации микотоксинов в пищевых системах

Fig. 2. Factors determining the effectiveness of cold plasma for mycotoxin detoxification in food systems



Рис. 3. Некоторые из возможных путей первых этапов деградации афлатоксина B1 [14, 24]

Fig. 3. Some of the possible pathways of the first stages of aflatoxin B1 degradation [14, 24]



С6 и С10, в результате чего образуется стабильный ароматический альдегид в кислой среде. Таким образом, пути деградации могут быть неодинаковыми даже для одних и тех же продуктов деградации [14, 24].

В целом деградация микотоксинов при обеззараживании нетепловыми технологиями с применением холодной плазмы в первую очередь зависит от синергизма реакционноспособных веществ, таких как ОН, Н₂О₂, УФ и О₃. Однако для более детального понимания механизмов деградации микотоксинов под действием холодной плазмы необходимо дальнейшее проведение системных, масштабных исследований для формирования доказательной базы применимости для реального сектора АПК.

Выводы/Conclusions

Микотоксины в пищевых системах — это угроза для потенциальных потребителей, риски воздействия которых имеют эффекты проявления в длительном периоде. Установление механизмов деградации для обеспечения эффективности нетепловых воздействий обеззараживания позволит сформировать новые технологические решения, применимые в агропромышленном комплексе на разных этапах технологической цепочки в целях сохранения продовольственных ресурсов.

Возможности применения холодной плазмы для детоксикации микотоксинов в пищевых системах привлекают всё большее внимание благодаря

весомым перспективам внедрения этого метода обеззараживания в реальные технологические процессы. Несмотря на то что в предварительных исследованиях были получены впечатляющие результаты, использование холодной плазмы, как и понимание механизмов ее влияния на микотоксины, всё еще находится в зачаточном состоянии. Поэтому существует множество задач, которые требуют скорейшего решения.

Учитывая, что холодная плазма, безусловно, является новинкой в области элиминации пищевых микотоксинов, технология в промышленных условиях пока не масштабирована. Большинство опубликованных до настоящего времени исследований по деградации микотоксинов холодной плазмой были основаны на лабораторных плазменных устройствах.

В промышленной установке следует учитывать несколько ключевых факторов, определяющих эффективность разложения микотоксинов, таких как время обработки, расстояние до объекта обработки, мощность разряда, влажность газа, вид и строение пищевой матрицы, структуру самих микотоксинов.

Таким образом, задача будущих исследований — установление действительно ключевых факторов для лучшей адаптации режимов детоксикации пищевых продуктов при различных условиях. Кроме того, дополнительно требуется дальнейшее изучение механизма деградации отдельных микотоксинов при обработке холодной плазмой.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ 24-16-20028.

FUNDING

The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation grant 24-16-20028.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Артамонов И.В. Микотоксины фитопатогенных грибов и микотоксикозы: исторический очерк (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023; 24(5): 703–719. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.703-719>
2. Вивер А. Новые микотоксины — новый вызов? *Комбикорма*. 2023; (6): 42–44. <https://www.elibrary.ru/gcjixd>
3. Ключникова Н.М., Пятунина С.К., Симонов Н.Е. Микотоксины как угроза общественной безопасности. *ОБЖ: основы безопасности жизни*. 2021; (2): 47–52. <https://www.elibrary.ru/qcbbtj>
4. Науменко Н.В., Ботвинникова В.В., Сотникова В., Грживна Л., Белоглазова Н.В. Микотоксины и безопасность продуктов питания: явные и скрытые угрозы. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*. 2020; 8(1): 105–111. <https://www.elibrary.ru/erhaax>
5. Савиных И. Микотоксины: варианты и продуктивные методы борьбы. *Эффективное животноводство*. 2023; (1): 21–25. <https://www.elibrary.ru/onfoxi>
6. Gruber-Dorninger C., Jenkins T., Schatzmayr G. Global Mycotoxin Occurrence in Feed: A Ten-Year Survey. *Toxins*. 2019; 11(7): 375. <https://doi.org/10.3390/toxins11070375>
7. Zhao L. et al. Occurrence of Aflatoxin B₁, deoxynivalenol and zearalenone in feeds in China during 2018–2020. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2021; 12: 74. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00603-0>

REFERENCES

1. Artamonov I.V. Mycotoxins of phytopathogenic fungi and mycotoxicosis: a historical essay (review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023; 24(5): 703–719 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.703-719>
2. Viver A. New mycotoxins — a new challenge?. *Compound feeds*. 2023; (6): 42–44 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/gcjixd>
3. Klyuchnikova N.M., Pyatunina S.K., Simonov N.E. Mycotoxins as a threat to human security. *FLS. Fundamentals of life safety*. 2021; (2): 47–52 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/qcbbtj>
4. Naumenko N.V., Botvinnikova V.V., Šotniková V., Hřivná L., Beloglazova N.V. Mycotoxins and security of food products: obvious and hidden threats. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology*. 2020; 8(1): 105–111 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/erhaax>
5. Savinykh I. Mycotoxins: options and effective control methods. *Effektivnoye zhivotnovodstvo*. 2023; (1): 21–25 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/onfoxi>
6. Gruber-Dorninger C., Jenkins T., Schatzmayr G. Global Mycotoxin Occurrence in Feed: A Ten-Year Survey. *Toxins*. 2019; 11(7): 375. <https://doi.org/10.3390/toxins11070375>
7. Zhao L. et al. Occurrence of Aflatoxin B₁, deoxynivalenol and zearalenone in feeds in China during 2018–2020. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2021; 12: 74. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00603-0>

8. Sankaranarayanan A., Amaresan N., Sharma A., Khalifa A.Y.Z. Mycotoxins associated food safety concerns of agricultural crops, prevention and control. Sharma V.K., Shah M.P., Parmar S., Kumar A. (eds.). *Fungi Bio-Prospects in Sustainable Agriculture, Environment and Nano-Technology. Academic Press.* 2021; 1: 357–374.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821394-0.00014-7>
9. Panasenko S. *et al.* Study on herbicide residues in soybean processing based on UPLC-MS/MS detection. *Food Science and Technology.* 2022; 42: e111521.
<https://doi.org/10.1590/fst.111521>
10. Hameed A. *et al.* Microwave-Vacuum Extraction Technique as a Green and Clean Label Technology: Kinetics, Efficiency Analysis, and Effect on Bioactive Compounds. *Food Analytical Methods.* 2023; 16(3): 525–540.
<https://doi.org/10.1007/s12161-022-02437-6>
11. Meinert C. *et al.* Food safety and food security through predictive microbiology tools: a short review. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences.* 2023; 17: 324–342.
<https://doi.org/10.5219/1854>
12. Mishra M. *et al.* Allergen30: Detecting Food Items with Possible Allergens Using Deep Learning-Based Computer Vision. *Food Analytical Methods.* 2022; 15(11): 3045–3078.
<https://doi.org/10.1007/s12161-022-02353-9>
13. Agriopoulou S., Stamatelopoulou E., Varzakas T. Advances in Occurrence, Importance, and Mycotoxin Control Strategies: Prevention and Detoxification in Foods. *Foods.* 2020; 9(2): 137.
<https://doi.org/10.3390/foods9020137>
14. Shephard G.S. Impact of mycotoxins on human health in developing countries. *Food Additives & Contaminants: Part A.* 2008; 25(2): 146–151.
<https://doi.org/10.1080/02652030701567442>
15. Zykova I. *et al.* Photochemical oxidation of γ -exachlorocyclohexane and 4,4'-dichlorodiphenyldichloroethylene. *Annual Research & Review in Biology.* 2017; 13(4): 1–10.
<https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/33754>
16. Dwi Anggono A. *et al.* Fruit preservation packaging technology based on air adjustment packaging method. *Food Science and Technology.* 2022; 42: e29221.
<https://doi.org/10.1590/fst.29221>
17. Okoli C. A Guide to Conducting a Standalone Systematic Literature Review. *Communications of the Association for Information Systems.* 2015; 37: 879–910.
<https://doi.org/10.17705/1CAIS.03743>
18. Adebo O.A. *et al.* A review on novel non-thermal food processing techniques for mycotoxin reduction. *International Journal of Food Science and Technology.* 2021; 56(1): 13–27.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.14734>
19. Cai J. *et al.* Antifungal and mycotoxin detoxification ability of essential oils: A review. *Phytotherapy Research.* 2022; 36(1): 62–72.
<https://doi.org/10.1002/ptr.7281>
20. Pankaj S.K., Shi H., Keener K.M. A review of novel physical and chemical decontamination technologies for aflatoxin in food. *Trends in Food Science & Technology.* 2018; 71: 73–83.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.007>
21. Peng W.-X., Marchal J.L.M., van der Poel A.F.B. Strategies to prevent and reduce mycotoxins for compound feed manufacturing. *Animal Feed Science and Technology.* 2018; 237: 129–153.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.01.017>
22. Wang S.-Q., Huang G.-Q., Li Y.-P., Xiao J.-X., Zhang Y., Jiang W.-L. Degradation of aflatoxin B₁ by low-temperature radio frequency plasma and degradation product elucidation. *European Food Research and Technology.* 2015; 241(1): 103–113.
<https://doi.org/10.1007/s00217-015-2439-5>
23. Puligundla P., Mok C. Microwave- and radio-frequency-powered cold plasma applications for food safety and preservation. Bermudez-Aguirre D. (ed.). *Advances in Cold Plasma Applications for Food Safety and Preservation. Academic Press.* 2020; 309–329.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814921-8.00011-6>
24. Afsah-Hejri L., Jinap S., Hajeb P., Radu S., Shakibazadeh S. A Review on Mycotoxins in Food and Feed: Malaysia Case Study. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.* 2013; 12(6): 629–651.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12029>
25. Bennett J.W., Klich M. Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews.* 2003; 16(3): 497–516.
<https://doi.org/10.1128/cmr.16.3.497-516.2003>
26. Dhakal A., Hashmi M.F., Sbar E. Aflatoxin Toxicity. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing. 2024.
27. Khan R., Ghazali F.M., Mahyudin N.A., Samsudin N.I.P. Aflatoxin Biosynthesis, Genetic Regulation, Toxicity, and Control Strategies: A Review. *Journal of Fungi.* 2021; 7(8): 606.
<https://doi.org/10.3390/jof7080606>
8. Sankaranarayanan A., Amaresan N., Sharma A., Khalifa A.Y.Z. Mycotoxins associated food safety concerns of agricultural crops, prevention and control. Sharma V.K., Shah M.P., Parmar S., Kumar A. (eds.). *Fungi Bio-Prospects in Sustainable Agriculture, Environment and Nano-Technology. Academic Press.* 2021; 1: 357–374.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821394-0.00014-7>
9. Panasenko S. *et al.* Study on herbicide residues in soybean processing based on UPLC-MS/MS detection. *Food Science and Technology.* 2022; 42: e111521.
<https://doi.org/10.1590/fst.111521>
10. Hameed A. *et al.* Microwave-Vacuum Extraction Technique as a Green and Clean Label Technology: Kinetics, Efficiency Analysis, and Effect on Bioactive Compounds. *Food Analytical Methods.* 2023; 16(3): 525–540.
<https://doi.org/10.1007/s12161-022-02437-6>
11. Meinert C. *et al.* Food safety and food security through predictive microbiology tools: a short review. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences.* 2023; 17: 324–342.
<https://doi.org/10.5219/1854>
12. Mishra M. *et al.* Allergen30: Detecting Food Items with Possible Allergens Using Deep Learning-Based Computer Vision. *Food Analytical Methods.* 2022; 15(11): 3045–3078.
<https://doi.org/10.1007/s12161-022-02353-9>
13. Agriopoulou S., Stamatelopoulou E., Varzakas T. Advances in Occurrence, Importance, and Mycotoxin Control Strategies: Prevention and Detoxification in Foods. *Foods.* 2020; 9(2): 137.
<https://doi.org/10.3390/foods9020137>
14. Shephard G.S. Impact of mycotoxins on human health in developing countries. *Food Additives & Contaminants: Part A.* 2008; 25(2): 146–151.
<https://doi.org/10.1080/02652030701567442>
15. Zykova I. *et al.* Photochemical oxidation of γ -exachlorocyclohexane and 4,4'-dichlorodiphenyldichloroethylene. *Annual Research & Review in Biology.* 2017; 13(4): 1–10.
<https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/33754>
16. Dwi Anggono A. *et al.* Fruit preservation packaging technology based on air adjustment packaging method. *Food Science and Technology.* 2022; 42: e29221.
<https://doi.org/10.1590/fst.29221>
17. Okoli C. A Guide to Conducting a Standalone Systematic Literature Review. *Communications of the Association for Information Systems.* 2015; 37: 879–910.
<https://doi.org/10.17705/1CAIS.03743>
18. Adebo O.A. *et al.* A review on novel non-thermal food processing techniques for mycotoxin reduction. *International Journal of Food Science and Technology.* 2021; 56(1): 13–27.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.14734>
19. Cai J. *et al.* Antifungal and mycotoxin detoxification ability of essential oils: A review. *Phytotherapy Research.* 2022; 36(1): 62–72.
<https://doi.org/10.1002/ptr.7281>
20. Pankaj S.K., Shi H., Keener K.M. A review of novel physical and chemical decontamination technologies for aflatoxin in food. *Trends in Food Science & Technology.* 2018; 71: 73–83.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.007>
21. Peng W.-X., Marchal J.L.M., van der Poel A.F.B. Strategies to prevent and reduce mycotoxins for compound feed manufacturing. *Animal Feed Science and Technology.* 2018; 237: 129–153.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.01.017>
22. Wang S.-Q., Huang G.-Q., Li Y.-P., Xiao J.-X., Zhang Y., Jiang W.-L. Degradation of aflatoxin B₁ by low-temperature radio frequency plasma and degradation product elucidation. *European Food Research and Technology.* 2015; 241(1): 103–113.
<https://doi.org/10.1007/s00217-015-2439-5>
23. Puligundla P., Mok C. Microwave- and radio-frequency-powered cold plasma applications for food safety and preservation. Bermudez-Aguirre D. (ed.). *Advances in Cold Plasma Applications for Food Safety and Preservation. Academic Press.* 2020; 309–329.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814921-8.00011-6>
24. Afsah-Hejri L., Jinap S., Hajeb P., Radu S., Shakibazadeh S. A Review on Mycotoxins in Food and Feed: Malaysia Case Study. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.* 2013; 12(6): 629–651.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12029>
25. Bennett J.W., Klich M. Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews.* 2003; 16(3): 497–516.
<https://doi.org/10.1128/cmr.16.3.497-516.2003>
26. Dhakal A., Hashmi M.F., Sbar E. Aflatoxin Toxicity. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing. 2024.
27. Khan R., Ghazali F.M., Mahyudin N.A., Samsudin N.I.P. Aflatoxin Biosynthesis, Genetic Regulation, Toxicity, and Control Strategies: A Review. *Journal of Fungi.* 2021; 7(8): 606.
<https://doi.org/10.3390/jof7080606>

28. Ding L., Han M., Wang X., Guo Y. Ochratoxin A: Overview of Prevention, Removal, and Detoxification Methods. *Toxins*. 2023; 15(9): 565. <https://doi.org/10.3390/toxins15090565>
29. Gab-Allah M.A., Choi K., Kim B. Type B Trichothecenes in Cereal Grains and Their Products: Recent Advances on Occurrence, Toxicology, Analysis and Post-Harvest Decontamination Strategies. *Toxins*. 2023; 15(2): 85. <https://doi.org/10.3390/toxins15020085>
30. Payros D., Alassane-Kpembi I., Pierron A., Loiseau N., Pinton P., Oswald I.P. Toxicology of deoxynivalenol and its acetylated and modified forms. *Archives of Toxicology*. 2016; 90(12): 2931–2957. <https://doi.org/10.1007/s00204-016-1826-4>
31. Ropejko K., Twarużek M. Zearalenone and Its Metabolites: General Overview, Occurrence, and Toxicity. *Toxins*. 2021; 13(1): 35. <https://doi.org/10.3390/toxins13010035>
32. Liu L., Xie M., Wei D. Biological Detoxification of Mycotoxins: Current Status and Future Advances. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022; 23(3): 1064. <https://doi.org/10.3390/ijms23031064>
33. Karlovsky P. *et al.* Impact of food processing and detoxification treatments on mycotoxin contamination. *Mycotoxin Research*. 2016; 32(4): 179–205. <https://doi.org/10.1007/s12550-016-0257-7>
34. Sharma S., Singh R.K. Cold plasma treatment of dairy proteins in relation to functionality enhancement. *Trends in Food Science and Technology*. 2020; 102: 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.013>
35. Liu Y., Li M., Liu Y., Bian K. Structures of Reaction Products and Degradation Pathways of Aflatoxin B₁ by Ultrasound Treatment. *Toxins*. 2019; 11(9): 526. <https://doi.org/10.3390/toxins11090526>
36. Pinela J., Ferreira I.C.F.R. Nonthermal physical technologies to decontaminate and extend the shelf-life of fruits and vegetables: Trends aiming at quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017; 57(10): 2095–2111. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1046547>
37. Xiang Q. *et al.* Feasibility of atmospheric cold plasma for the elimination of food hazards: Recent advances and future trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023; 63(20): 4431–4449. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.2002257>
38. Berkova M.D. *et al.* Plasma technologies in ecological problems. *Proceedings of the 13th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science, ICCF 2007*. 2008; 409–419. <https://elibrary.ru/rhpalt>
39. Anakhov S.V., Matushkin A.V., Pyckin Y.A. Effectiveness of the Plasma Neutralization Technology for Supertoxicants. Radionov A.A., Gasiyarov V.R. (eds.). *Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020)*. Cham: Springer. 2021; 2: 1323–1330. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54817-9_154
40. Al-Saleem M.S.M. *et al.* Metabolic Profiling and In Vitro Assessment of the Biological Activities of the Ethyl Acetate Extract of *Penicillium chrysogenum* “Endozoic of Cliona sp. Marine Sponge” from the Red Sea (Egypt). *Marine Drugs*. 2022; 20(5): 326. <https://doi.org/10.3390/md20050326>
41. Park B.J. *et al.* Degradation of mycotoxins using microwave-induced argon plasma at atmospheric pressure. *Surface and Coatings Technology*. 2007; 201(9–11): 5733–5737. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.07.092>
42. Shanakhhat H., Sorrentino A., Raiola A., Romano A., Masi P., Cavella S. Current methods for mycotoxins analysis and innovative strategies for their reduction in cereals: an overview. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2018; 98(11): 4003–4013. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8933>
43. Ten Bosch L., Pfohl K., Avramidis G., Wieneke S., Viöl W., Karlovsky P. Plasma-Based Degradation of Mycotoxins Produced by *Fusarium*, *Aspergillus* and *Alternaria* Species. *Toxins*. 2017; 9(3): 97. <https://doi.org/10.3390/toxins9030097>
44. Wang X., Wang S., Yan Y., Wang W., Zhang L., Zong W. The degradation of *Alternaria* mycotoxins by dielectric barrier discharge cold plasma. *Food Control*. 2020; 117: 107333. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107333>
45. Delgado-Ospina J., Molina-Hernández J.B., Chaves-López C., Romanazzi G., Paparella A. The Role of Fungi in the Cocoa Production Chain and the Challenge of Climate Change. *Journal of Fungi*. 2021; 7(3): 202. <https://doi.org/10.3390/jof7030202>
46. Wu Y., Cheng J.-H., Sun D.-W. Blocking and degradation of aflatoxins by cold plasma treatments: Applications and mechanisms. *Trends in Food Science & Technology*. 2021; 109: 674–661. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.053>
28. Ding L., Han M., Wang X., Guo Y. Ochratoxin A: Overview of Prevention, Removal, and Detoxification Methods. *Toxins*. 2023; 15(9): 565. <https://doi.org/10.3390/toxins15090565>
29. Gab-Allah M.A., Choi K., Kim B. Type B Trichothecenes in Cereal Grains and Their Products: Recent Advances on Occurrence, Toxicology, Analysis and Post-Harvest Decontamination Strategies. *Toxins*. 2023; 15(2): 85. <https://doi.org/10.3390/toxins15020085>
30. Payros D., Alassane-Kpembi I., Pierron A., Loiseau N., Pinton P., Oswald I.P. Toxicology of deoxynivalenol and its acetylated and modified forms. *Archives of Toxicology*. 2016; 90(12): 2931–2957. <https://doi.org/10.1007/s00204-016-1826-4>
31. Ropejko K., Twarużek M. Zearalenone and Its Metabolites: General Overview, Occurrence, and Toxicity. *Toxins*. 2021; 13(1): 35. <https://doi.org/10.3390/toxins13010035>
32. Liu L., Xie M., Wei D. Biological Detoxification of Mycotoxins: Current Status and Future Advances. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022; 23(3): 1064. <https://doi.org/10.3390/ijms23031064>
33. Karlovsky P. *et al.* Impact of food processing and detoxification treatments on mycotoxin contamination. *Mycotoxin Research*. 2016; 32(4): 179–205. <https://doi.org/10.1007/s12550-016-0257-7>
34. Sharma S., Singh R.K. Cold plasma treatment of dairy proteins in relation to functionality enhancement. *Trends in Food Science and Technology*. 2020; 102: 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.013>
35. Liu Y., Li M., Liu Y., Bian K. Structures of Reaction Products and Degradation Pathways of Aflatoxin B₁ by Ultrasound Treatment. *Toxins*. 2019; 11(9): 526. <https://doi.org/10.3390/toxins11090526>
36. Pinela J., Ferreira I.C.F.R. Nonthermal physical technologies to decontaminate and extend the shelf-life of fruits and vegetables: Trends aiming at quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017; 57(10): 2095–2111. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1046547>
37. Xiang Q. *et al.* Feasibility of atmospheric cold plasma for the elimination of food hazards: Recent advances and future trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023; 63(20): 4431–4449. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.2002257>
38. Berkova M.D. *et al.* Plasma technologies in ecological problems. *Proceedings of the 13th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science, ICCF 2007*. 2008; 409–419. <https://elibrary.ru/rhpalt>
39. Anakhov S.V., Matushkin A.V., Pyckin Y.A. Effectiveness of the Plasma Neutralization Technology for Supertoxicants. Radionov A.A., Gasiyarov V.R. (eds.). *Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020)*. Cham: Springer. 2021; 2: 1323–1330. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54817-9_154
40. Al-Saleem M.S.M. *et al.* Metabolic Profiling and In Vitro Assessment of the Biological Activities of the Ethyl Acetate Extract of *Penicillium chrysogenum* “Endozoic of Cliona sp. Marine Sponge” from the Red Sea (Egypt). *Marine Drugs*. 2022; 20(5): 326. <https://doi.org/10.3390/md20050326>
41. Park B.J. *et al.* Degradation of mycotoxins using microwave-induced argon plasma at atmospheric pressure. *Surface and Coatings Technology*. 2007; 201(9–11): 5733–5737. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.07.092>
42. Shanakhhat H., Sorrentino A., Raiola A., Romano A., Masi P., Cavella S. Current methods for mycotoxins analysis and innovative strategies for their reduction in cereals: an overview. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2018; 98(11): 4003–4013. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8933>
43. Ten Bosch L., Pfohl K., Avramidis G., Wieneke S., Viöl W., Karlovsky P. Plasma-Based Degradation of Mycotoxins Produced by *Fusarium*, *Aspergillus* and *Alternaria* Species. *Toxins*. 2017; 9(3): 97. <https://doi.org/10.3390/toxins9030097>
44. Wang X., Wang S., Yan Y., Wang W., Zhang L., Zong W. The degradation of *Alternaria* mycotoxins by dielectric barrier discharge cold plasma. *Food Control*. 2020; 117: 107333. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107333>
45. Delgado-Ospina J., Molina-Hernández J.B., Chaves-López C., Romanazzi G., Paparella A. The Role of Fungi in the Cocoa Production Chain and the Challenge of Climate Change. *Journal of Fungi*. 2021; 7(3): 202. <https://doi.org/10.3390/jof7030202>
46. Wu Y., Cheng J.-H., Sun D.-W. Blocking and degradation of aflatoxins by cold plasma treatments: Applications and mechanisms. *Trends in Food Science & Technology*. 2021; 109: 674–661. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.053>

47. Dai H. *et al.* Efficient and simple simultaneous adsorption removal of multiple aflatoxins from various liquid foods. *Food Chemistry*. 2022; 380: 132176.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132176>
48. Mir S.A. *et al.* Application of new technologies in decontamination of mycotoxins in cereal grains: Challenges, and perspectives. *Food and Chemical Toxicology*. 2021; 148: 111976.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.111976>
49. Hojnik N. *et al.* Unravelling the pathways of air plasma induced aflatoxin B₁ degradation and detoxification. *Journal of Hazardous Materials*. 2021; 403: 123593.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123593>

ОБ АВТОРАХ**Ирина Валерьевна Калинина**

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры пищевых и биотехнологий
<https://orcid.org/0000-0002-6246-9870>
kalininaiv@susu.ru

Ирина Юрьевна Потороко

доктор технических наук, профессор, директор Высшей медико-биологической школы
<https://orcid.org/0000-0002-3059-8061>
potorokoi@susu.ru

Алёна Александровна Рускина

старший преподаватель кафедры пищевых и биотехнологий
<https://orcid.org/0000-0002-2451-9339>
ruskinaaa@susu.ru

Южно-Уральский государственный университет,
 пр-т Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия

47. Dai H. *et al.* Efficient and simple simultaneous adsorption removal of multiple aflatoxins from various liquid foods. *Food Chemistry*. 2022; 380: 132176.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132176>

48. Mir S.A. *et al.* Application of new technologies in decontamination of mycotoxins in cereal grains: Challenges, and perspectives. *Food and Chemical Toxicology*. 2021; 148: 111976.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.111976>

49. Hojnik N. *et al.* Unravelling the pathways of air plasma induced aflatoxin B₁ degradation and detoxification. *Journal of Hazardous Materials*. 2021; 403: 123593.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123593>

ABOUT THE AUTHORS**Irina Valerievna Kalinina**

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
 Professor of the Department of Food and Biotechnology
<https://orcid.org/0000-0002-6246-9870>
kalininaiv@susu.ru

Irina Yuryevna Potoroko

Doctor of Technical Sciences, Professor, Director
 of the Higher Medical and Biological School
<https://orcid.org/0000-0002-3059-8061>
potorokoi@susu.ru

Alena Aleksandrovna Ruskina

Senior Lecturer at the Department of Food
 and Biotechnology
<https://orcid.org/0000-0002-2451-9339>
ruskinaaa@susu.ru

South Ural State University,
 76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia



МАК 2025

Межрегиональная Агропромышленная Конференция



12+

РЕКЛАМА

5-6 ФЕВРАЛЯ 2025 | СТАТЬ ПАРТНЁРОМ

РАЗДЕЛЫ МАК: ЗОНА ПАРТНЕРОВ

РАСТЕНИЕВОДСТВО

- ◆ Селекция и семеноводство
- ◆ Удобрения
- ◆ Гербициды
- ◆ Средства защиты растений

ЖИВОТНОВОДСТВО

- ◆ Корма и кормовые добавки
- ◆ Селекция, генетика, репродукция
- ◆ Оборудование для содержания и ухода

УСЛУГИ ДЛЯ АПК

- ◆ Технологии
- ◆ Финансирование и страхование бизнеса
- ◆ Цифровизация и оптимизация процессов
- ◆ Логистика

Официальная поддержка:



Министерство
сельского хозяйства
Челябинской области

Организатор:



ПЕРВОЕ
ВЫСТАВОЧНОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ

www.makural.ru

г. Челябинск, Гранд Отель Видгоф
 +7 (351) 755-55-10