

АФЛОТОКСИНЫ ЗЕРНА И СПОСОБЫ МИНИМИЗАЦИИ РИСКОВ ИХ НАКОПЛЕНИЯ

Н.В. Науменко¹, И.Ю. Потороко¹, А.В. Малинин¹,
А.В. Цатуров¹, О.Д. Назарова²

¹ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

² Институт проблем биологической безопасности ТАСХН (ИГББ), г. Душанбе, Республика Таджикистан

Опасность попадания и накопления афлатоксинов в пищевых продуктах все еще присутствует и является актуальной проблемой мирового масштаба. Даже минимальное их количество способно нанести глобальный вред здоровью человека. Смеси афлатоксинов определены Международным агентством по исследованию раковых заболеваний как канцерогены первой группы. Также афлатоксины имеют тератогенное, гепатотоксичное, цитотоксичное и генотоксичное воздействие на организм человека. Максимально допустимые уровни содержания афлатоксинов в пищевых продуктах варьируются в зависимости от типа афлатоксина, вида пищевых продуктов и экономического статуса страны в диапазоне от 0,0005 до 0,3 мг/кг. Ограничения, установленные в каждой отдельной стране, в настоящее время основаны на нескольких критических факторах, таких как количество токсичных соединений в основном и дополнительном сырье, величина потребления загрязненных продуктов, уровень грамотности населения, технологический уровень и климатические условия страны. Но несмотря на это, до сих пор появляются вспышки накопления афлатоксинов в пищевых продуктах в разных странах мира. Поэтому необходимо стремиться к полному обеззараживанию сырья и исключению возможности накопления как афлатоксинов, так и всех видов микотоксинов в готовых продуктах. Основным опасным фактором, приводящим к интенсификации накопления афлатоксинов в зерне пшеницы, является повышение относительной влажности воздуха при хранении и процессы самосогревания. В статье рассматриваются инновационные методы снижения рисков накопления микотоксинов в пищевом сырье и готовых пищевых продуктах. Отмечается, что в последние годы было разработано и исследовано несколько инновационных методов дезактивации плесневых грибов и разрушения афлатоксинов в пищевых продуктах (использование холодной плазмы, ультразвуковое воздействие высокой частоты). Они демонстрируют хорошие результаты и являются перспективными методами минимизации рисков попадания афлатоксинов в готовые пищевые продукты.

Ключевые слова: афлатоксины, обеззараживание зерна, безопасность пищевых продуктов.

Афлатоксины являются вторичными метаболитами, производимыми грибами из рода *Aspergillus*, в частности *A. flavus*, *A. parasiticus* и *A. nomius*, которые естественным образом развиваются в пищевых продуктах и вызывают широкий спектр токсических эффектов у нескольких видов млекопитающих, включая человека [27]. Существует более 20 типов молекул афлатоксина, хотя наиболее заметными являются афлатоксины В₁, В₂, G₁, G₂, М₁ и М₂.

Смеси афлатоксинов В, G и М определены Международным агентством по исследованию раковых заболеваний [13, 14] как канцерогены первой группы. При этом, наиболее заметное воздействие афлатоксинов на здоровье человека – гепатоцеллюлярная карцинома (ГЦК), которая признана во всем мире как 9-й тип рака у женщин и 7-й у мужчин. Ежегодно

регистрируется более 320 000 новых случаев ГЦК, что составляет более 4 % от общего числа зарегистрированных случаев злокачественных опухолей в мире. Несмотря на относительно низкий уровень заболеваемости, ГЦК является сильно агрессивной формой рака и приводит к смертности (0,31 миллиона случаев смерти в год) по сравнению с другими типами [11]. Дополнительные воздействия афлатоксинов на здоровье включают тератогенность, гепатотоксичность, цитотоксичность и генотоксичность. Афлатоксины также тесно связаны с нарушениями роста, включая его задержку и истощение организма [1, 5]. Наиболее опасны все виды афлатоксинов для беременных женщин, так как вызывают мутации и дефекты развития плода в утробе женщины [10].

Афлатоксины имеют большую устойчивость к стандартным способам обеззараживания, стандартно применяемым при производстве пищевых продуктов или кормов [19]. Поэтому меры, направленные на предотвращение загрязнения зерна, особенно наиболее токсичным соединением В1, имеют важное значение во всей производственной цепочке.

Наиболее распространенные способы обеззараживания зерна, применяемые в пищевой промышленности, включают химические, физические и биологические методы (рис. 1).

Химические способы обеззараживания получили наибольшее распространение и достаточно эффективно применяются в пищевой промышленности. Они подразумевают использование веществ химического происхождения, которые могут частично оставаться на поверхности зерна и переходить в конечный продукт. Биологические способы являются достаточно дорогостоящими и только начинают находить свое применение в нашей стране. Тогда как физические способы обеззараживания активно применяются как на стадиях послеуборочной обработки зерновых культур, так и для разрушения накопленных микотоксинов после хранения. Они способны минимизировать риски миграции микотоксинов в готовый продукт и сделать его безопасным для потребителя.

На сегодняшний день среди различных физических методов обеззараживания пищевых продуктов холодная плазма имеет высокую эффективность воздействия уменьшения микробиологических загрязнений растительного сырья и перспективным способом обеззараживания [3, 4, 8, 20].

Холодная плазма является четвертым состоянием вещества и представляет собой ионизированный газ, содержащий атомы или молекулы в метастабильном состоянии с нулевым суммарным электрическим зарядом [6, 8]. В пищевой промышленности холодная плазма широко используется для микробной инактивации, повышения скорости прорастания семян, ферментативной инактивации [19, 25, 28, 29, 30].

Bermúdez-Aguirre, Wemlinger, Pedrow, Barbosa-Cánovas и др. [8], в своих работах указывают, что, что микробная инактивация холодной плазмой обусловлена ультрафиолетовыми фотонами, электрическими полями и активными веществами, такими как атомарный кислород, гидроксильные ионы, метастабиль-

ные молекулы кислорода, озон, ионы азота, радикалы NO. Эффективность инактивации воздушной плазмы также зависит от мощности и времени обработки. U.S. Annature [6, 16] в своих работах отмечает выраженное воздействие не только на микроорганизмы, но и указывает на разрушение микотоксинов. В частности, после обработки холодной плазмой наблюдается снижение содержания афлатоксина В1 более чем на 70...90 %, а афлатоксина G1 более чем на 65...95 %.

V.J. Park, K. Takatori, Y. Sugita-Konishi, I.H. Kim, M.H.Lee и др. [21] и его соавторы своими исследованиями подтверждают, что время, затрачиваемое на разрушение афлатоксинов с использованием холодной плазмы, намного меньше, чем другие виды излучений (ультрафиолетовое излучение и γ -излучение).

Ультразвук высокой частоты является еще одним из инновационных методов обеззараживания. Эффект инактивации микроорганизмов при помощи ультразвука объясняется генерацией внутриклеточной кавитации, и эти механические удары могут нарушать структурные и функциональные компоненты клетки вплоть до лизиса клеток. При этом споры более устойчивы к его воздействию, чем вегетативные формы, в то время как ферменты инактивируются ультразвуком в результате эффекта деполимеризации [2].

Критическими факторами обеззараживания являются природа ультразвуковых волн, время воздействия на микроорганизмы, тип микроорганизмов, объем обрабатываемой пробы, состав пищевого ингредиента и температура. Однако наблюдаемые эффекты не являются стабильными и минимальными для проведения полноценного процесса обеззараживания при использовании только ультразвукового воздействия. Оно может быть достигнуто путем сочетания ультразвука с температурным воздействием или давления. Возможные способы обеззараживания включают следующие сочетания воздействий:

- маносонизация (сочетание ультразвукового воздействия и давления);
- термосонизация (сочетание ультразвука и температурного воздействия);
- манотермосонизация (сочетание ультразвука, давления и температурного воздействия) [6, 9].

Использование ультразвука позволяет уничтожать различные виды грибов, бактерий и вирусов за гораздо более короткое время

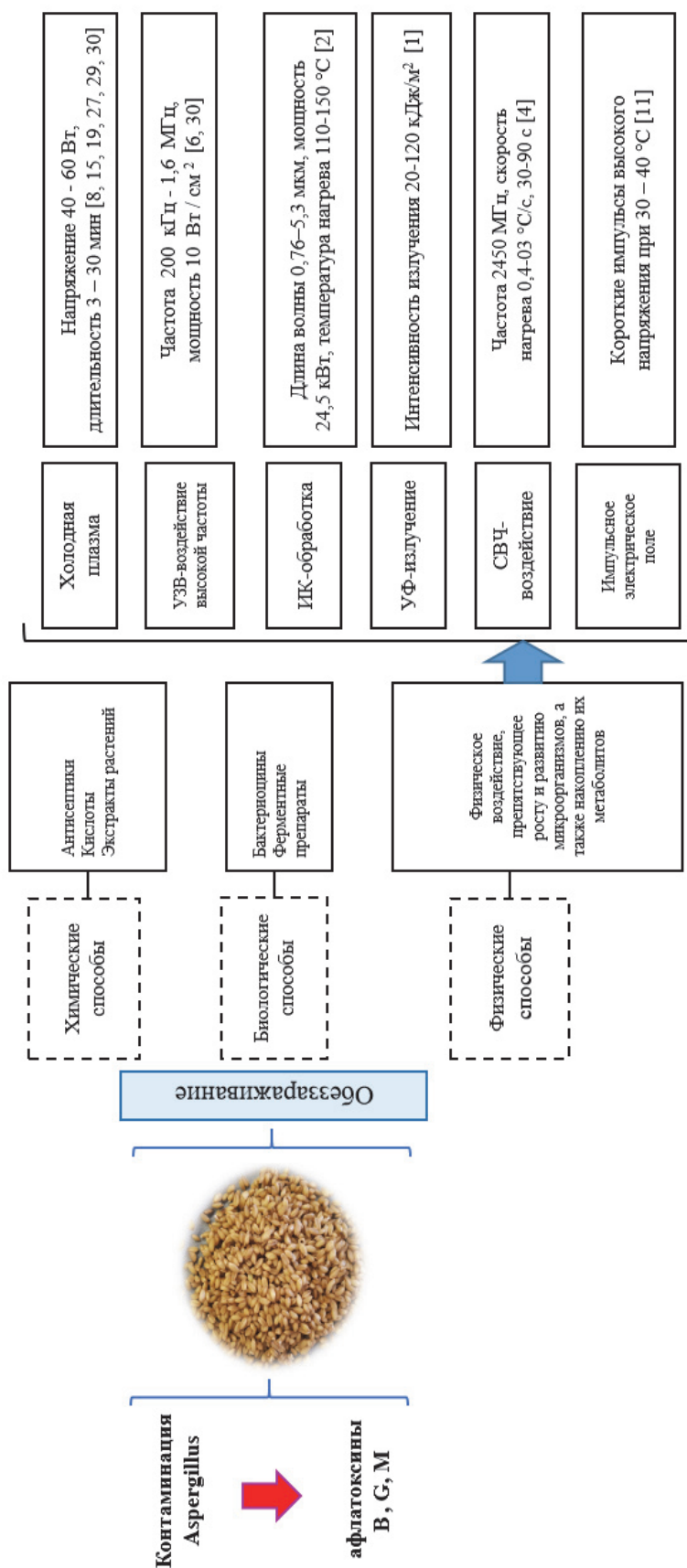


Рис. 1. Способы обеззараживания зерна, наиболее часто применяемые в пищевой промышленности (российский опыт + мировая практика)

обработки по сравнению с термической обработкой при аналогичных температурах. Данный способ обеззараживания имеет большое значение и может эффективно использоваться для пищевой промышленности [31].

В МГУПП научным коллективом под руководством проф. Черных В.Я. разработана технологическая схема использования тепловой обработки коротковолнового диапазона ИК-излучения. Обеззараживающий эффект достигается путем использования источника излучения, который создает электромагнитное поле, служащее носителем энергии: тепловая энергия передается с помощью этого поля и поглощается предметами окружающей среды, т. е. атомами облучаемого вещества. Это позволяет достичь значительно больших скоростей прогрева материала и достичь обеззараживающего эффекта [2].

Разновидности высокоинтенсивного полихроматического света также используются для обеззараживания зерновых культур. УФ-излучение оказывает поверхностное воздействие, не затрагивает внутренние части зерна, благодаря чему не изменяет его пищевую ценность. Обработка зерна бактерицидным ультрафиолетовым излучением позволяет снизить микробиологическую обсемененность образцов в десятки раз относительно начального уровня [23].

Другие авторы [4] в своих работах отмечают, что эффективна для обеззараживания зерна обработка СВЧ-излучением. После такой обработки происходит обеззараживание семян от *Aspergillus* на 100 %, *Fusarium* – на 91 – 100, от *Penicillium* – на 100 %, но данный способ приводит к необратимым изменениям сырьевых компонентов и значительно ухудшает технологические и пищевые достоинства конечного продукта.

Также для обеззараживания используется импульсное электрическое поле, основанное на пропускании электрических импульсов высокого напряжения через растительный материал между двумя электродами, соединенными непроводящим материалом, помещенный в камеру обработки. При этом наблюдается необратимое разрушение клеточной мембраны у микроорганизмов и полная их инактивация [11]. К сожалению, данный способ в России пока не находит широкого применения.

Объекты и методы исследований

В качестве объекта исследований было определено зерно пшеницы сортов Любава,

Эритроспериум 59, Безенчукская 205, Безенчукская степная, выращенные в степной зоне Челябинской области. Климатические условия данного региона отличаются высокими температурами и малым количеством осадков. Сумма активных температур выше 10 °С составляет здесь 2200 °С. Температура воздуха испытывает значительные колебания. Зимой они сглажены, а в теплый период резко выражены. Продолжительность безморозного периода составляет 115 дней. За год выпадает 250...300 мм осадков. На период активной вегетации приходится 150...175 мм. По степени увлажнения условия варьируют от острозасушливых до достаточно влажных, что способствует развитию грибов рода *Aspergillus* еще в период выращивания зерновых культур.

Отбор проб зерна проводили согласно ГОСТ 13586.3-2015.

Для создания провоцирующих условий развития плесневых грибов в зерне пшеницы увеличивали температуру воздуха до 25–30 °С и повышали влажность зерна до 16–18 % [13]. Контроль микробиологических показателей проводили через 1, 3 и 5 суток.

Качественное определение наличия афлотоксинов проводили согласно международному методу ААСС 45-15.01. Количественное определение афлатоксина В₁ – согласно МУ 5-1-14/1001 и ГОСТ 30711-2001.

Исследование колониеобразующих единиц осуществлялось с помощью метода MALDI TOF MS. Посев разведений проводили глубинным методом на селективный агар для дрожжей и плесеней YGC. Анализ масс-пиковых списков спектров рибосомных белков проводили с использованием программного обеспечения MALDI Biotyper (Bruker Daltonics, Германия).

Результаты и их обсуждение

Учитывая высокую токсичность афлотоксинов, ряд стран установили значения допустимого уровня их количества в пищевых продуктах. В таблице приведены нормируемые значения количества афлотоксинов для пищевых продуктов в разных странах мира.

Максимально допустимые уровни содержания афлотоксинов в пищевых продуктах варьируются в зависимости от типа афлатоксина, вида пищевых продуктов и экономического статуса страны в диапазоне от 0,0005 до 0,3 мг/кг. Тем не менее, ограничения, установленные в каждой отдельной стране, в настоящее время основаны на нескольких

Величина допустимого уровня количества афлатоксинов, содержащихся в пищевых продуктах (мировой опыт) [7]

Страна	Пищевой продукт	Обозначение афлатоксина	Регламентируемое значение (мг/кг)
Австралия и Новая Зеландия	Все виды орехов и продуктов их переработки	Суммарное количество афлатоксинов (В, G)	0,015
Канада	Орехи и ореховые продукты	Суммарное количество афлатоксинов (В, G)	0,015
Чили	Все продукты	Суммарное количество афлатоксинов (В, G)	0,005
Китай	Кукуруза и продукты ее переработки, арахис и продукты его переработки	Афлатоксин В ₁	0,02
	Рис, растительное масло		0,01
	Соевый соус, зерновые, бобовые, ферментированные продукты, продукты переработки крахмала, мучные кондитерские изделия, печенье и хлеб		0,005
Европейский Союз	Орехи, сухофрукты, продукты переработки, крупы, предназначенные для непосредственного употребления в пищу человеком	Афлатоксин В ₁	0,002
		Суммарное количество афлатоксинов (В, G)	0,004
	Сырое молоко, термически обработанное молоко и молоко-сырье	Афлатоксин М ₁	<0,00005
	Обработанные продукты на основе зерновых и детское питание для младенцев и детей младшего возраста	Афлатоксин В ₁	<0,0001
	Смеси для грудных детей и последующие смеси, в том числе детское и последующее молоко	Афлатоксин М ₁	<0,000025
Индия	Все пищевые продукты	Суммарное количество афлатоксинов (В, G)	0,03
Израиль	Орехи, арахис, кукурузная мука, инжир и продукты из них, а также другие продукты питания	Афлатоксин В ₁	0,005
		Суммарное количество афлатоксинов (В, G)	0,015
	Молоко и молочные продукты	Афлатоксин М ₁	<0,0005
Япония	Все продукты	Афлатоксин В ₁	0,01
Аргентина, Бразилия, Парагвай, Уругвай Венесуэла	Арахис, кукуруза и продукты из кукурузы	Суммарное количество афлатоксинов (В, G)	0,02
	Сухое молоко	Афлатоксин М ₁	0,005

Окончание таблицы

Страна	Пищевой продукт	Обозначение афлатоксина	Регламентируемое значение (мг/кг)
Мексика	Зерновые и зерновые продукты	Суммарное количество афлатоксинов (В, G)	0,02
Соединенные Штаты Америки	Все продукты, кроме молока и молочных продуктов	Суммарное количество афлатоксинов (В, G)	0,02
	Молоко и молочные продукты	Афлатоксин М ₁	<0,0005
Россия	Злаковые культуры (пшеница, рожь, тритикале, овес, ячмень, просо, гречиха, рис, кукуруза, сорго)	Афлатоксин В ₁	0,005*
	Ферментные препараты молокосвертывающие грибного происхождения	Афлатоксин В ₁	не допускается (<0,00015)**
	Зерно продовольственное, семена зернобобовых и продукты из них, мучные и сахаристые кондитерские изделия, восточные сладости; шоколад и изделия из него; какао-бобы и какао-продукты, орехи, чай, кофе, масла растительные и др. продукты	Афлатоксин В ₁	0,005**
	Молоко и продукты переработки молока	Афлатоксин М ₁	0,0005**

* Согласно ТР ТС 015/2011 О безопасности зерна.

** Согласно ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции.

критических факторах, таких как количество токсичных соединений в основном и дополнительном сырье, величина потребления загрязненных продуктов, уровень грамотности населения, технологический уровень и климатические условия страны. Поэтому до сих пор периодически появляются вспышки накопления афлатоксинов в основных пищевых продуктах в разных странах мира. Так, только в 2017 году были зафиксированы превышающие значения суммарного количества афлатоксинов / афлатоксина В₁ в арахисе (Коста Рика [12, 28]), кукурузе (Зимбабве [15, 20], США [26, 29]), коровьем молоке (Китай [17, 24, 31], Малайзия [9, 25], Италия [23]), пшеничной муке (Турция [17]) и муке из цельного зерна пшеницы (Испания [18, 22]).

Одним из важных аспектов, касающихся нормирования содержания афлатоксинов в сырье и конечном продукте, является тот факт, что максимальные регламентируемые уровни должны основываться не только на токсикологических исследованиях, но и на

технических возможностях их определения. Следовательно, необходимо стремиться к полному обеззараживанию сырья и минимизации рисков накопления микотоксинов в готовых пищевых продуктах.

Отслеживание зараженности зерна плесневыми грибами не может проводиться визуальными методами, так как большинство инфицированных зерен внешне не отличаются от здоровых, но могут быть загрязнены микотоксинами. При мониторинге зерна в ультрафиолетовом излучении у 0,5–1 % массы зерен визуализируется зеленовато-желтое свечение, что косвенно свидетельствует о возможном наличии афлотоксинов на поверхности зерна (рис. 2).

Создание провокационных условий (моделирующих процессы увлажнения и самосогревания зерна) свидетельствуют о том, что процессы накопления афлотоксинов проходят крайне быстро и могут распространяться на всю партию зерна. Так, через 24 часа зеленовато-желтое свечение визуализируется у 6–

Питание и здоровье

8 % массы зерен, через 72 – 10–12 %, а через 120 часов наблюдается 100 % свечения и сформировавшийся мицелий плесневых грибов (рис. 3).

При инкубации образцов зерна были идентифицированы методом MALDI TOF MS с самым высоким значением сора (++) *Alternaria alternate*, *Aspergillus parasiticus* и *Aspergillus candidus*. Эти данные свидетельствуют о потенциальных рисках накопления афлотоксинов в зерновой массе в процессе хранения и транспортировки, даже несмотря на тот факт, что их количество в сухом зерне колебалось в пределах 0,001–0,003 мг/кг.

На основании выше изложенного можно сказать, что опасность попадания и накопления афлотоксинов в пищевых продуктах все еще присутствует и является актуальной проблемой мирового масштаба, так как даже ми-

нимальное их количество способно нанести глобальный вред здоровью населения.

В последние годы было разработано и исследовано несколько инновационных методов дезактивации плесневых грибов и разрушения афлатоксинов в пищевых продуктах (использование холодной плазмы, ультразвуковое воздействие высокой частоты). Они демонстрируют хорошие результаты и являются перспективными методами минимизации рисков попадания афлотоксинов в готовые пищевые продукты.

Статья выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление №211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.A03.21.0011 и при финансовой поддержке государственных заданий № 40.8095.2017/БЧ и гранта РФФИ 18-53-45015.

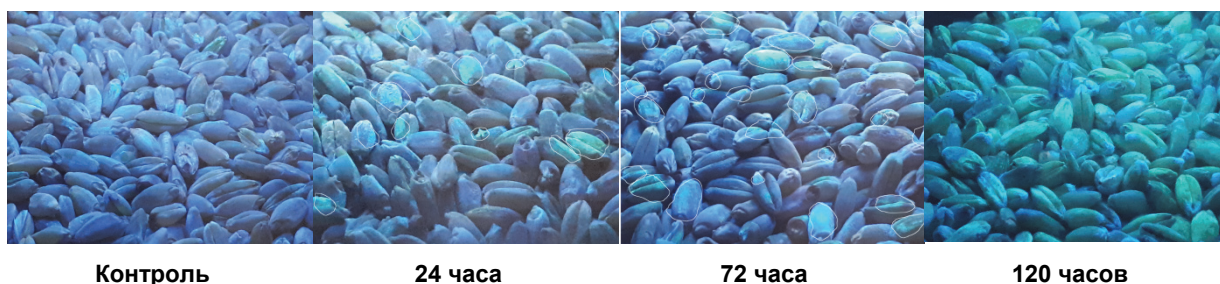


Рис. 2. Характерный вид результатов качественного определения наличия афлотоксинов, согласно АСС 45-15.01



Рис. 3. Схематичное представление результатов идентификации микроорганизмов (методом MALDI TOF MS)

Литература/References

1. Евдокимов А.П., Подковыров И.Ю., Кузнецова Т.А. Воздействие бактерицидного ультрафиолетового излучения на микрофлору зерна пшеницы // Стратегическое ориентиры инновационного развития: материалы Международной научно-практической конференции. – Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2016. – Т. 2. – С. 320–326. [Evdokimov A.P., Podkovyrov I.Yu., Kuznetsova T.A. [The impact of Bactericidal Ultraviolet Radiation on Wheat Microflora]. *Strategicheskoe orientiry innovatsionnogo razvitiya* [Strategic Guidelines for Innovative Development: the International Scientific and Practical Conference proceedings]. Volgograd, 2016, vol. 2, pp. 320–326. (in Russ.)]
2. Черных В.Я., Лабутина Н.В., Фазлутдинова А.Н. Патент № 2216175 Способ производства зернового хлеба. МПК: 7А 21D 13/02 А, 7А 21D 2/00 В. [Chernykh V.Ya., Labutina N.V., Fazludinova A.N. *Patent № 2216175 Sposob proizvodstva zernovogo khleba* [Patent No. 2216175 Method of Whole-Grain Bread Production]. МПК: 7А 21D 13/02 А, 7А 21D 2/00 В]
3. Тутельян В.А., Кравченко Л.В. Микотоксины (Медицинские и биологические аспекты). М.: Медицина, 1985. 320 с. [Tutel'yan V.A., Kravchenko L.V. *Mikotoksiny (Meditsinskie i biologicheskie aspekty)* [Mycotoxins (Medical and Biological Objects)]. Moscow, 1985. 320 p.]
4. Цугленок В.Н. Обоснование технологического процесса и эффективных режимов СВЧ-обеззараживания зерна при производстве зернового хлеба: дис. ...канд. техн. наук. Красноярск, 2004. [Tsuglenok V.N. *Obosnovanie tekhnologicheskogo protsessa i effektivnykh rezhimov SVCh-obezzarazhivaniya zerna pri proizvodstve zernovogo khleba* [Justification of Technological Process and Effective Modes of Microwave Disinfection of Grain in the Production of Whole-Grain Bread: diss. Cand. Science]. Krasnoyarsk, 2004]
5. Abbas H.K. *Aflatoxin and food safety*. CRC Press, Boca Raton, 2005.
6. Ashokkumar M. Applications of ultrasound in food and bioprocessing. *Ultrason. Sonochem.*, 2015, vol. 25, pp. 17–23. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2014.08.012
7. Baier M., Görgen M., Ehlbeck J., Knorr D., Herppich W.B., Schlüter O. Non-thermal atmospheric pressure plasma: screening for gentle process conditions and antibacterial efficiency on perishable fresh produce. *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.*, 2014, vol. 22, pp. 147–157. DOI: 10.1016/j.ifset.2014.01.011
8. Bermúdez-Aguirre D., Wemlinger E., Pedrow P., Barbosa-Cánovas G., Garcia-Perez M. Effect of atmospheric pressure cold plasma (APCP) on the inactivation of *Escherichia coli* in fresh produce. *Food Control*, 2013, vol. 34 (1), pp. 149–157. DOI: 10.1016/j.foodcont.2013.04.022
9. Chemat F., Zill-e-Huma, Khan M.K. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. *Ultrason Sonochem.*, 2011, vol. 18, pp. 813–835. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2010.11.023
10. Egmond van Hans P., Jonker M.A. *Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2004.
11. Fernandez A., Noriega E., Thompson A. Inactivation of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium on fresh produce by cold atmospheric gas plasma technology. *Food Microbiol.*, 2013, vol. 33, pp. 24–29. DOI: 10.1016/j.fm.2012.08.007
12. Granados-Chinchilla F., Molina A., Chavarría G., Alfaro-Cascante M., Bogantes-Ledezma D., Murillo-Williams A. Aflatoxins occurrence through the food chain in Costa Rica: Applying the one health approach to mycotoxin surveillance. *Food Control*, 2017, vol. 82, pp. 217–226. DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.06.023
13. *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans* / World Health Organization; International Agency for Research on Cancer, 2012, 100 (Pt F), p. 9–562.
14. Kara G.N., Ozbey F., Kabak B. Co-occurrence of aflatoxins and ochratoxin A in cereal flours commercialised in Turkey. *Food Control*, 2017, vol. 54, pp. 275–281. DOI: 10.1016/j.foodcont.2015.02.014
15. Khlangwiset P., Shephard G.S., Wu F. Aflatoxins and growth impairment: A review. *Critical Reviews in Toxicology*, 2011, vol. 41, pp. 740–755. DOI: 10.3109/10408444.2011.575766

16. Lacombe A., Niemira B.A., Gurtler J.B., Fan X., Sites J., Boyd G., Chen H. Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes. *Food Microbiol.*, 2015, vol. 46, pp. 479–484. DOI: 10.1016/j.fm.2014.09.010
17. Li S., Min L., Wang P., Zhang Y., Zheng N., Wang J. Aflatoxin M1 contamination in raw milk from major milk-producing areas of China during four seasons of 2016. *Food Control*, 2017, vol. 82, pp. 121–125. DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.06.036
18. Luzardo O.P., Bernal-Suárez M.D.M., Camacho M., Henríquez-Hernández L.A., Boada L.D., Rial-Berriel C. et al. Estimated exposure to EU regulated mycotoxins and risk characterization of aflatoxin-induced hepatic toxicity through the consumption of the toasted cereal flour called “gofio”, a traditional food of the Canary Islands (Spain). *Food and Chemical Toxicology*, 2017, vol. 93, pp. 73–81. DOI: 10.1016/j.fct.2016.04.022
19. Misra N.N., Patil S., Moiseev T., Bourke P., Mosnier J.P., Keener K.M., Cullen P.J. In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries. *J. Food Eng.*, 2014, vol. 125, pp. 131–138. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2013.10.023
20. Murashiki T.C., Chidewe C., Benhura M.A., Maringe D.T., Dembedza M.P., Manema L.R. et al. Levels and daily intake estimates of aflatoxin B1 and fumonisin B1 in maize consumed by rural households in Shamva and Makoni districts of Zimbabwe. *Food Control*, 2017, vol. 72, pp. 105–109. DOI: /10.1016/j.foodcont.2016.07.040
21. Park B.J., Takatori K., Sugita-Konishi Y., Kim I.H., Lee M.H., Han D.W. et al. Degradation of mycotoxins using microwave-induced argon plasma at atmospheric pressure. *Surface and Coatings Technology*, 2007, vol. 201 (9), pp. 5733–5737. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2006.07.092
22. Reddy K.R.N., Abbas H.K., Abel C.A., Shier W.T., Oliveira C.A.F., Raghavender C.R. Mycotoxin contamination of commercially important agricultural commodities. *Toxin Reviews*, 2009, vol. 28, pp. 154–168. DOI: 10.1080/15569540903092050
23. Roma De A., Rossini C., Ritieni A., Gallo P., Esposito M. A survey on the aflatoxin M1 occurrence and seasonal variation in buffalo and cow milk from southern Italy. *Food Control*, 2017, vol. 81, pp. 30–33. DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.05.034
24. Rustom I.Y.S. Aflatoxin in food and feed: Occurrence, legislation and inactivation by physical methods. *Food Chemistry*, 1997, vol. 59, pp. 57–67. DOI: 10.1016/S0308-8146(96)00096-9
25. Shuib N.S., Makahleh A., Salhimi S.M., Saad B. Natural occurrence of aflatoxin M1 in fresh cow milk and human milk in Penang, Malaysia. *Food Control*, 2017, vol. 73, pp. 966–970. DOI: 10.1016/j.foodcont.2016.10.013
26. Singh P., Cotty P.J. Aflatoxin contamination of dried red chilies: Contrasts between the United States and Nigeria, two markets differing in regulation enforcement. *Food Control*, 2017, vol. 80, pp. 374–379. DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.05.014
27. Teissie J., Golzio M., Rols M.P. Mechanisms of cell membrane electropermeabilization: a minireview of our present (lack of?) knowledge. *Biochim. Biophys. Acta – Gen. Subj.*, 2005, vol. 1724 (3), pp. 270–280. DOI: 10.1016/j.bbagen.2005.05.006
28. Thirumdas R., Sarangapani C., Annapure U.S. Cold plasma: A novel non-thermal technology for food processing. *Food Biophysics*, 2015, vol. 1, pp. 1–11. DOI: 10.1007/s11483-014-9382-z
29. Thirumdas R., Kadam D., Annapure U.S. Cold plasma: An alternative technology for the starch modification. *Food Biophysics*, 2017, vol. 12, pp. 129–139. DOI: 10.1007/s11483-017-9468-5
30. Thirumdas R., Saragapani C., Ajinkya M.T., Deshmukh R.R., Annapure U.S. Influence of low pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2016, vol. 37, pp. 53–60. DOI: 10.1016/j.ifset.2016.08.009
31. Wang J., Huang T., Su J., Liang F., Wei Z., Liang Y. et al. Hepatocellular carcinoma and aflatoxin exposure in Zhuqing village, Fusui County, People s Republic of China. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 2001, vol. 10, pp. 143–146.

Науменко Наталья Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), Naumenko_natalya@mail.ru

Потороко Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), irina_potoroko@mail.ru

Малинин Артем Владимирович, магистрант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), artemmalinin3@gmail.com

Цатуров Арам Валерикович, магистрант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), aram-chel@mail.ru

Назарова Орзугуль Домуллоджановна, заведующая лабораторией зоонозных инфекций, Институт проблем биологической безопасности ТАСХН (ИПББ) (г. Душанбе, Республика Таджикистан), orzugul@mail.ru

Поступила в редакцию 10 апреля 2019 г.

DOI: 10.14529/food190208

GRAIN AFLATOXINS AND WAYS TO MINIMIZE RISKS OF THEIR ACCUMULATION

N.V. Naumenko¹, I.Yu. Potoroko¹, A.V. Malinin¹, A.V. Tsaturov¹, O.D. Nazarova²

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

² Scientific Research Institute for Biological Safety Problems, Academy of Agricultural Sciences of Tajikistan (SRIBSP), Dushanbe, Republic of Tajikistan

The danger of aflatoxins accumulation in food is still an urgent global problem. Even their minimum number can be harmful for human health. The International Agency for Research on Cancer identified the mixture of aflatoxins as carcinogens of the first group. Besides aflatoxins have teratogenic, hepatotoxic, cytotoxic and genotoxic effects on the human body. The maximum permissible levels of aflatoxins in food vary ranging from 0.0005 to 0.3 mg/kg according to the type of aflatoxin, the type of food and the economic status of the country. The restrictions imposed in each country are currently based on several critical factors, such as the number of toxic compounds in primary and secondary raw materials, the consumption of contaminated products, the literacy rate of the population, the technological level and the climatic conditions of the country. But despite this, there are still cases of aflatoxin accumulation in food products in different countries of the world. Therefore, it is necessary to strive for complete disinfection of raw materials and eliminate the possibility of accumulation of both aflatoxins and all kinds of mycotoxins in finished products. The main dangerous factors leading to the intensification of the accumulation of aflatoxins in wheat grain are the increase in relative humidity when stored and self-heating processes. The article considers the innovative methods of reducing risks of mycotoxins accumulation in food raw materials and finished food products. It is noted that several innovative methods of mold deactivation and aflatoxins destruction in food products (with the use of cold plasma, high frequency ultrasonic exposure) have been developed and studied recently. They show good results and are considered to be promising methods to minimize risks of getting aflatoxins in finished food products.

Keywords: aflatoxins, grain disinfection, food products safety.

The article was written with the support of the Government of the Russian Federation (the Resolution No. 211 dated from 16.03.2013), the agreement No. 02.A03.21.0011 and with the financial support of the state tasks № 40.8095.2017/БЧ and RFBR grant 18-53-45015.

Natalia V. Naumenko, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Naumenko_natalya@mail.ru

Irina Yu. Potoroko, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, irina_potoroko@mail.ru

Artem V. Malinin, Master's Degree Student at the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, artemmalinin3@gmail.com

Aram V. Tsaturov, Master's Degree Student at the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, aram-chel@mail.ru

Orzugul D. Nazarova, Chief, Laboratory of Zoonotic infections, Scientific Research Institute for Biological Safety Problems, Academy of Agricultural Sciences of Tajikistan (SRIBSP), Dushanbe, Republic of Tajikistan, orzugul@mail.ru

Received April 10, 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Афлотоксины зерна и способы минимизации рисков их накопления / Н.В. Науменко, И.Ю. Потороко, А.В. Малинин и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2019. – Т. 7, № 2. – С. 70–80. DOI: 10.14529/food190208

FOR CITATION

Naumenko N.V., Potoroko I.Yu., Malinin A.V., Tsaturov A.V., Nazarova O.D. Grain Aflatoxins and Ways to Minimize Risks of Their Accumulation. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2019, vol. 7, no. 2, pp. 70–80. (in Russ.) DOI: 10.14529/food190208
