

МИКОТОКСИНЫ И БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ: ЯВНЫЕ И СКРЫТЫЕ УГРОЗЫ

*Н.В. Науменко¹, В.В. Ботвинникова², В. Соттникова³,
Л. Грживна³, Н.В. Белоглазова⁴*

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

² Испытательная лаборатория Тест-Пуццино, Московская область, г. Пуццино, Россия

³ Университет Менделя в Брно, г. Брно, Чешская Республика

⁴ Гентский университет, г. Гент, Бельгия

Нарастающие темпы потерь продовольственных ресурсов последнего десятилетия, возникающие на различных этапах жизненного цикла продукции, являются общепризнанным фактом и требуют незамедлительного системного подхода в решении данной проблемы. Среди наиболее важных факторов, обуславливающих утрату безопасности и качества пищевого сырья, можно выделить загрязнение патогенной микрофлорой, накопление микотоксинов и их миграцию по трофологической цепи. Данная проблема, несомненно, имеет общемировой масштаб, что подтверждается созданием в 2001 году Объединенного Комитета Экспертов ФАО / ВОЗ, в основные задачи работы которого положена оценка рисков, связанных с пищевыми добавками и определение содержания микотоксинов в пищевых продуктах. Мировым научным сообществом на протяжении последних 20 лет ведутся масштабные исследования, подчеркивающие высокие риски для здоровья, связанные с воздействием микотоксинов, признается, что мультианалитический подход, охватывающий биоконъюгированные и другие метаболиты наиболее часто встречающихся микотоксинов, лучше всего отражает степень глобальных проблем воздействия этих высокотоксичных соединений. Для решения проблемы негативного влияния микотоксинов на здоровье и жизнедеятельность человека Объединенным Комитетом Экспертов ФАО / ВОЗ и Европейской комиссией в 2002 году были установлены предельно допустимые нормы данных высокотоксичных соединений, а также правила, определяющие аналитические подходы к измерению их уровня в кормах для животных и пищевых продуктах, чтобы послужило отправной точкой в формировании единой концепции минимизации потерь продовольственных ресурсов и получении безопасных продуктов питания в мировом масштабе.

Ключевые слова: микотоксины, продовольственная безопасность, пищевые продукты, риски контаминации, потери продовольствия.

В настоящее время мировое сообщество все чаще указывает на риски, сопряженные с присутствием в пище различного рода контаминантов. Доказано, что безопасность продуктов питания следует рассматривать в комплексе с другими их характеристиками, так как в условиях жесткого контроля они целостно отражают качество и полезность.

Комплексный, всесторонний подход к устойчивому развитию как сельского хозяйства, так и пищевой промышленности в целом, не возможен без формирования единой концепции, объединяющей социальные, экономические и экологические факторы производства. Предотвращение продовольственных потерь и обеспечение продовольственной безопасности является первостепенной задачей мирового

масштаба, что определено Целями в области устойчивого развития до 2030 года, принятыми в 2015 году государствами-членами ООН.

Мировые потери сельскохозяйственной продукции за последние 10 лет увеличились в девять раз и достигли 22 млрд долларов в год, причем только в России – около 7 млрд рублей. Потери продовольственных ресурсов, как правило, возникают на различных этапах жизненного цикла продукции, в связи с чем основной задачей для каждой страны является их сокращение. Известно, что, прежде всего зерно для большинства стран мира является жизненно важным продовольственным ресурсом, определяющим продовольственную независимость государства. По оценкам ФАО ООН ежегодные потери зерна в мире состав-

ляют около 20 %. Колебания от 1–2 % в высоко развитых странах Европы и Америки и до 30–40 % в некоторых менее развитых странах. По данным АЦ Минсельхоза России на разных этапах жизненного цикла только зерновой продукции в совокупности теряется около 40 % [10].

Один из факторов, обуславливающих значительные потери продовольственных ресурсов, в частности зерновых, является высокое поражение сырья токсинообразующими грибами, а в последствии при хранении – высокий концентрацией микотоксинов. Учитывая, что микотоксины являются вторичными метаболитами около 200 различных видов микроскопических грибов, в частности *Aspergillus*, *Penicillium* и *Fusarium* (*sp.*), то как правило в среде продукта накапливается несколько сотен известных микотоксинов с разнообразными химическими и физико-химическими свойствами [2, 4, 5, 7].

Впервые в 2001 году был создан Объединенный Комитет Экспертов ФАО / ВОЗ по пищевым добавкам для рассмотрения только загрязнителей, что было обусловлено растущим беспокойством среди потребителей во всем мире о потенциальных рисках, связанных с их потреблением с продуктами питания. Опубликованный доклад комитета «Evaluation of certain mycotoxins in food. Fifty-sixth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives» представляет позицию Комитета экспертов ФАО/ВОЗ по оценке рисков, связанных с пищевыми добавками, и определению содержания микотоксинов в продуктах питания [1]. Первая часть доклада посвящена общим принципам оценки микотоксинов в пище, включая обзор существующих методов определения, анализу данных о пищевой ценности продуктов и контролю качества продуктов питания. Особый интерес представляют конкретные данные по специфическим микотоксинам: афлатоксинам В₁, G и М₁, охратоксину А и др. (см. таблицу).

Настороженность населения в части рисков возникновения микотоксикозов при потреблении продуктов питания оправдана, так как статистические данные, представленные в открытых источниках информации, указывают на высокий уровень опасности пищи. Так, в 2018 году при оценке зерна выявлены отклонения по показателю зараженность вредителями – 9,8 млн тонн (доля 94,4 %), по показателям качества – 460 тыс. тонн, а превыше-

ние по показателям безопасности было установлено для 39 тыс. тонн. В количестве выявленных микотоксинов преобладают дизокси-нивалинол (42 % от количества обследованных проб) и Т-2 (55,5 %), а также установлено присутствие охратоксина А, афлатоксина В₁, фумонизина 1, сумма афлатоксинов В₁, В₂, G₁, G₂ в количестве 1–0,5 % [6, 12, 14].

Микотоксины (токсины микромицетов) являются веществами высокой степени опасности, проникают в организм человека различными путями (в основном алиментарным путем, то есть с продуктами питания). При потреблении контаминированных микотоксинами продуктов через десятилетия микотоксины могут выступать в качестве триггерного фактора неинфекционных заболеваний различной этиологии, нервных расстройств, подавления иммунной системы, снижения репродуктивных способностей, развития злокачественных новообразований [2, 3].

Афлатоксины и охратоксины (продуцируются *Aspergillus* sp.), фумонизины, трихотецены и зеараленон (*Fusarium* sp.), патулин (*Penicillium* sp.) и алкалоиды спорыньи (*Claviceps* sp.) – все они влияют на здоровье теплокровных организмов, вызывая нервные расстройства, подавление иммунной системы, снижение репродуктивной способности [2, 12].

Анализ баз данных (далее по тексту БД) e-library, Scopus и Web of Science показал, что максимально ревалентными по ключевым словам «Mycotoxins» идентифицируются соответственно 3684 и 56 650 документа по каждой из указанных БД. Поисковая система на термины «Mycotoxin accumulation», «Food contamination» идентифицирует 338 документа в БД e-library и 331 410 документа в БД Scopus и Web of Science. Основные лидеры научных исследований по странам – United States (74 036 документов), China (37 117 документов), United Kingdom (20 635 документов).

Большинство научных статей направлено на систематизацию данных по выявлению загрязнений пищевого сырья, биомониторинга общемирового масштаба и оценке негативного воздействия микотоксинов на организм человека. Частично исследования посвящены построению модели метаболизма и фармакокинетики микотоксинов в организме животных и человека, а также методам обеззараживания и контроля безопасности пищевого сырья.

Предельно допустимые уровни содержания микотоксинов в пищевых продуктах
(мировые и российский регламенты) [8–16]

Страна	Пищевой продукт	Максимально допустимый уровень
Афлотоксины		
Европейский Союз, (мкг/кг)	Орехи, сухофрукты, продукты переработки, крупы, предназначенные для непосредственного употребления в пищу человеком (Афлатоксин В ₁)	2,0
	Сырое молоко, термически обработанное молоко и молоко-сырье (Афлатоксин М ₁)	< 0,05
	Обработанные продукты на основе зерновых и детское питание для младенцев и детей младшего возраста (Афлатоксин В ₁)	< 0,1
	Смеси для грудных детей и последующие смеси, в том числе детское и последующее молоко (Афлатоксин М ₁)	< 0,025
Соединенные Штаты Америки, (мкг/кг)	Все пищевые продукты, кроме молока и молочных продуктов (Суммарное количество афлатоксинов (В, G))	20
	Молоко и молочные продукты (Афлатоксин М ₁)	< 0,5
Россия, (мг/кг)	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
Охратоксин А		
Европейский Союз, (мкг/кг)	Не переработанные зерновые культуры	5,0
	Все пищевые продукты, полученные из переработанных зерновых культур	3
	Молоко и молочные продукты питания для специальных медицинских целей, предназначенные специально для новорожденных	0,50
Россия, (мг/кг)	Ферментные препараты молокосвертывающие грибного происхождения	Не допускается (< 0,0005)
	Злаковые, зернобобовые и масличные культуры	0,05
Дезоксиниваленол		
Европейский Союз, (мкг/кг)	Зерновые, предназначенные для непосредственного потребления человеком, зерновая мука (включая кукурузную муку, кукурузную муку грубого помола, кукурузную крупу)	750
	Хлеб (включая небольшие пекарные изделия), кондитерские изделия, печенье, завтраки из зерновых и крупы для завтрака	500
Соединенные Штаты Америки, (мг/кг)	Для продуктов переработки зерна пшеницы, готовой для потребления в пищу, а также отрубей и зародышей пшеницы	1
Россия, (мг/кг)	Злаковые, зернобобовые и масличные культуры	1

Страна	Пищевой продукт	Максимально допустимый уровень
Зеараленон		
Европейский Союз, (мкг/кг)	Зерновые, предназначенные для непосредственного потребления человеком, зерновая мука (включая кукурузную муку, кукурузную муку грубого помола, кукурузную крупу)	75
	Хлеб (включая небольшие пекарные изделия), кондитерские изделия, печенье, завтраки из зерновых и крупы для завтрака	50
Россия, (мг/кг)	Злаковые, зернобобовые и масличные культуры	1 (мг/кг)
	Ферментные препараты молокосвертывающие грибного происхождения	Не допускается (<0,005)
Т-2 токсин		
Европейский Союз, (мкг/кг)	Кукурузная мука, кукурузная мука грубого помола, пророщенная кукуруза и рафинированное кукурузное масло	1000
Россия, (мг/кг)	Ферментные препараты молокосвертывающие грибного происхождения	Не допускается (<0,005)
	Злаковые, зернобобовые и масличные культуры	0,1

В настоящее время около 120 стран осуществляют контрольные мероприятия по миграции микотоксинов по трофологической цепи и минимизации их негативного влияния на организм человека. Обращается особое внимание на тот факт, что основная проблема безопасности пищевых продуктов связана с накопительным эффектом микотоксинов в организме человека, даже при минимальном их присутствии в пищевом сырье.

На основании выше изложенного можно сказать, что эффективным инструментом минимизации потерь пищевых ресурсов и обеспечения продовольственной безопасности может стать только комплексный, мультианалитический, всесторонний подход общемирового масштаба, основанный на соблюдении законодательной базы и применении инновационных методов сохранения качества и безопасности пищевого сырья.

Литература

1. Оценка определения микотоксинов в пище. 56 доклад совместного Комитета экспертов ФАО/ВОЗ по пищевым добавкам (*Evaluation of certain mycotoxins in food. Fifty-*

sixth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). – 2002.

2. Тутельян, В.А. Микотоксины (Медицинские и биологические объекты) / В.А. Тутельян, Л.В. Кравченко // АМН СССР. – М.: Медицина, 1985. – С. 320.

3. Commission Regulation (EC) №. 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union, L 364/17*.

4. EFSA Evaluation of the increase of risk for public health related to a possible temporary derogation from the maximum level of deoxynivalenol, zearalenone and fumonisins for maize and maize products // *EFSA J.*, 12 (5) (2014), p. 3699.

5. FAO Worldwide Regulations for Mycotoxins in Food and Feed in 2003 // *Food and Agriculture Organization, Rome, Italy* (2004).

6. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Some Traditional Herbal Medicines, Some Mycotoxins, Naphthalene and Styrene, vol. 82, IARC, France (2002).

7. International Agency for Research on Cancer / IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans/World Health Organization //International Agency for Research on Cancer, 100 (Pt F) (2012), p. 9-562.

8. Kara, G.N. Co-occurrence of aflatoxins and ochratoxin A in cereal flours commercialised in Turkey / G.N. Kara, F. Ozbey, B. // Food Control, 54 (2017), pp. 275–281.

9. Khlangwiset, P. Aflatoxins and growth impairment: A review / P. Khlangwiset, G.S. Shephard, F. Wu // Critical Reviews in Toxicology, 41 (2011), pp. 740–755.

10. Li, S. Aflatoxin M1 contamination in raw milk from major milk-producing areas of China during four seasons of 2016 / S. Li, L. Min, P. Wang, Y. Zhang, N. Zheng, J. Wang // Food Control, 82 (2017), pp. 121–125.

11. Luzardo, O.P. 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) / O.P. Luzardo, M.D.M. Bernal-Suárez, M. Camacho, L.A.Henríquez-Hernández, L.D. Boada, C. Rial-Berriel, ..., R.Díaz-Díaz // Food and Chemical Toxicology, 93 (2017), pp. 73–81.

12. Murashiki, T.C. Levels and daily intake estimates of aflatoxin B1 and fumonisin B1 in maize consumed by rural households in Shamva and Makoni districts of Zimbabwe / T.C. Murashiki, C. Chidewe, M.A. Benhura, D.T. Maringe, M.P. Dembedza, L.R. Manema, ..., L.K. Nyanga // Food Control, 72 (2017), pp. 105–109.

13. Reddy, K.R.N. Mycotoxin contamination of commercially important agricultural commodities / K.R.N. Reddy, H.K. Abbas, C.A. Abel, W.T. Shier, C.A.F.Oliveira, C.R. Raghavender // Toxin Reviews, 28 (2009), pp. 154–168.

14. Roma, A. De A survey on the aflatoxin M1 occurrence and seasonal variation in buffalo and cow milk from southern Italy / A. De Roma, C. Rossini, A. Ritieni, P. Gallo, M. Esposito // Food Control, 81 (2017), pp. 30–33.

15. Rustom, I.Y.S. Aflatoxin in food and feed: Occurrence, legislation and inactivation by physical methods / I.Y.S.Rustom // Food Chemistry, 59 (1997), pp. 57–67.

16. Shuib, N.S. Natural occurrence of aflatoxin M1 in fresh cow milk and human milk in Penang, Malaysia / N.S. Shuib, A. Makahleh, S.M. Salhimi, B. Saad // Food Control, 73 (2017), pp. 966–970.

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

Ботвинникова Валентина Викторовна, кандидат технических наук, менеджер по качеству Испытательная лаборатория Тест-Пушино, Московская область, г. Пушино, valens_b@mail.ru

Соттнникова Виера, доцент, кафедра пищевых технологий, Университет Менделя в Брно (г. Брно, Чешская Республика).

Грживна Людек, кандидат технических наук, факультет пищевых технологий, Университет Менделя в Брно (г. Брно, Чешская Республика).

Белоглазова Наталья Владимировна, научный сотрудник, отдел биоанализа, факультет фармацевтических наук, Гентский университет, факультет фармацевтических наук (г. Гент, Бельгия).

Поступила в редакцию 7 января 2020 г.

MYCOTOXINS AND SECURITY OF FOOD PRODUCTS: OBVIOUS AND HIDDEN THREATS

**N.V. Naumenko¹, V.V. Botvinnikova², V. Šottníková³,
L. Hřivna³, N.V. Beloglazova⁴**

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

² FL Test-Pushchino LLC, Pushchino, Moscow Region, Russian Federation

³ Mendel University in Brno, Brno, Czech Republic

⁴ University of Ghent, Ghent, Belgium

Growing losses of food resources in the recent decades which occur at different stages of a product life cycle are an acknowledged fact and need an immediate systematic approach in solving this problem. The key factors determining the insecurity and loss of raw products quality include pathogen contamination and accumulation of mycotoxins and their migration along the trophological chain. This problem is a worldwide societal challenge which can be proved by the creation of the Joint FAO/WHO Expert Committee in 2001. The main targets of the committee are the assessment of risks connected with food additives and evaluation of mycotoxins in food products. Within the last 20 years the global scientific community has been doing wide-scale research stressing high risks for health connected with mycotoxins effects. Multi-analytical approach which includes bio-conjugated and other metabolites of most wide-spread mycotoxins is considered to reflect the global problems connected with the effect of these high-toxic compounds best of all. In 2002 in order to solve the problem of negative effects of mycotoxins on human health and vital activity the Joint Committee of Experts FAO/WHO and the European committee established the limits of these high-toxic compounds as well as the rules defining the analytical approaches to measuring their level in animal feed and food products. It can serve the starting point of forming the universal concept of minimizing the losses of food resources and producing secure food products on a global scale.

Keywords: mycotoxins, food security, food products, contamination risks, food losses.

References

1. *Otsenka opredeleniya mikotoksinov v pische* [(Evaluation of certain mycotoxins in food]. Fifty-sixth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. 2002.
2. Tutelyan V.A., Kravchenko L.V. *Mycotoxins* [Medical and biological objects]. Moscow, 1985, p. 320.
3. *Commission Regulation (EC) №. 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs*. Official Journal of the European Union, L 364/17.
4. EFSA Evaluation of the increase of risk for public health related to a possible temporary derogation from the maximum level of deoxynivalenol, zearalenone and fumonisins for maize and maize products. *EFSA J.*, 12 (5) (2014), p. 3699. DOI: 10.2903/j.efsa.2014.3699
5. FAO Worldwide Regulations for Mycotoxins in Food and Feed in 2003. *Food and Agriculture Organization*, Rome, Italy (2004).
6. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Some Traditional Herbal Medicines, Some Mycotoxins, Naphthalene and Styrene*, vol. 82, IARC, France (2002). DOI: 10.1016/j.phytochem.2003.09.007
7. International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans/World Health Organization. *International Agency for Research on Cancer*, 100 (Pt F) (2012), p. 9–562.
8. Kara G.N., Ozbey F. Co-occurrence of aflatoxins and ochratoxin A in cereal flours commercialised in Turkey. *Food Control*, 54 (2017), pp. 275–281. DOI: 10.1016/j.foodcont.2015.02.014
9. Khlangwiset P., Shephard G.S., Wu F. Aflatoxins and growth impairment: A review. *Critical Reviews in Toxicology*, 41 (2011), pp. 740–755. DOI: 10.3109/10408444.2011.575766

10. 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*, 82 (2017), pp. 121–125. DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.06.036
11. Luzardo O.P., Bernal-Suárez M.D.M., Camacho M., Henríquez-Hernández L.A., Boada L.D. 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*, 93 (2017), pp. 73–81. DOI: 10.1016/j.fct.2016.04.022
12. Murashiki T.C., Chidewe C., Benhura M.A., Maringe D.T. 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*, 72 (2017), pp. 105–109. DOI: 10.1016/j.foodcont.2016.07.040
13. Reddy K.R.N., Abbas H.K., Abel C.A., Shier W.T. et al. Mycotoxin contamination of commercially important agricultural commodities. *Toxin Reviews*, 28 (2009), pp. 154–168. DOI: 10.1080/15569540903092050
14. Roma A., Rossini C., Ritieni A., Gallo P., Esposito M. De. A survey on the aflatoxin M1 occurrence and seasonal variation in buffalo and cow milk from southern Italy. *Food Control*, 81 (2017), pp. 30–33. DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.05.034
15. Rustom I.Y.S. Aflatoxin in food and feed: Occurrence, legislation and inactivation by physical methods. *Food Chemistry*, 59 (1997), pp. 57–67. DOI: 10.1016/S0308-8146(96)00096-9
16. 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*, 73 (2017), pp. 966–970. DOI: 10.1016/j.foodcont.2016.10.013

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

Valentina V. Botvinnikova, Candidate of Technical Sciences, Quality Manager, FL Test-Pushchino LLC, Puschino, valens_b@mail.ru

Viera Šottníková, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Food Technology, Mendel University in Brno, Brno, Czech Republic.

Ludek Hřivna, Candidate of Sciences (Engineering), of the Department of Food Technology Mendel University in Brno, Brno, Czech Republic.

Natalia V. Beloglazova, Researcher, Department of Bioanalysis, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Faculty of Pharmaceutical Sciences, University of Ghent, Ghent, Belgium.

Received January 7, 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Микотоксины и безопасность продуктов питания: явные и скрытые угрозы / Н.В. Науменко, В.В. Ботвинникова, В. Соттнникова и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2020. – Т. 8, № 1. – С. 105–111. DOI: 10.14529/food200112

FOR CITATION

Naumenko N.V., Botvinnikova V.V., Šottníková V., Hřivna L., Beloglazova N.V. Mycotoxins and Security of Food Products: Obvious and Hidden Threats. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2020, vol. 8, no. 1, pp. 105–111. (in Russ.) DOI: 10.14529/food200112