



Научная статья

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ КОНТАМИНАЦИИ ПЕРЦА ЧИЛИ И ПАПРИКИ АЛЬТЕРНАРИАТОКСИНАМИ КАК ФАКТОРЫ РИСКА ЗДОРОВЬЮ

З.А. Чалый¹, И.Б. Седова¹, А.Л. Спиридонова¹, М.И. Главлица¹,
Д.М. Компаинцева¹, У.В. Иванова¹, В.А. Тутельян^{1,2}

¹Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Российская Федерация, 109240, г. Москва, Устьинский пр., 2/14

²Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Российская Федерация, 119991, г. Москва, ул. Трубецкая, 8/2

Интерес исследователей в настоящее время привлекают потенциально опасные для здоровья человека нерегулируемые токсины широко распространенных в природе плесневых грибов, в частности, метаболитов грибов рода *Alternaria*. При неблагоприятных условиях они способны продуцировать альтернариатоксины (АТ), представляющие опасность для здоровья населения и обладающие мутагенным, генотоксическим и острым токсическим действием. Они часто выявляются не только в зерновых и масличных культурах, фруктах, орехах, овощах, а также в специях, в особенности в высушенном красном перце.

Целью исследования являлось изучение распространенности альтернариатоксинов в паприке и перце чили, продаваемых на отечественном рынке, а также оценка нагрузки ими на человека за счет их потребления.

Содержание 5 АТ (альтернариол (АОН), его метиловый эфир (АМЕ), альтенуен (АЛТ), тентоксин (ТЕН), тенуазоновая кислота (ТеА)) было изучено в 37 образцах сушеного красного перца, реализуемого в торговой сети г. Москвы и Московской области в 2024 г.: 20 – паприки и 17 – перца чили. Анализ загрязненности проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с тандемной масс-спектрометрией (ВЭЖХ-МС/МС).

ТеА была выявлена в 84 % образцов паприки и перца чили в количестве от 43 до 3295 мкг/кг, ТеN – в 40 % случаях на низких уровнях загрязнения – от 1,0 до 11 мкг/кг. Частота обнаружения АТ в паприке была выше, чем в перце чили. Сочетанное (2 токسينа и более) загрязнение АТ установлено только в образцах паприки (65 %; преобладающая комбинация – ТеА и ТЕН). Поступление АТ, связанное с потреблением перца чили и паприки, не превышало референтных значений и варьировалось от 0,0003 % (для ТЕН) до 0,24 % (для ТеА) от величины порога токсического воздействия (ТТС).

Ключевые слова: альтернариатоксины, тенуазоновая кислота, тентоксин, перец чили, паприка, загрязнение, ВЭЖХ-МС/МС, оценка риска.

Среди наиболее распространенных контаминантов, приводящих к порче сельскохозяйственных культур, интерес представляют микотоксины (МТ), в том числе альтернариатоксины (АТ), продуцируемые такими плесневыми грибами рода *Alternaria*,

как *A. alternata*, *A. tenuissima*, *A. solani* и др. [1–4]. Их накопление может начаться как на этапе, предшествующем сбору урожая, так и в послеуборочный период, при транспортировке и хранении, а возможность одновременного загрязнения ими продукции,

© Чалый З.А., Седова И.Б., Спиридонова А.Л., Главлица М.И., Компаинцева Д.М., Иванова У.В., Тутельян В.А., 2024
Чалый Захар Андреевич – младший научный сотрудник лаборатории энзимологии питания (e-mail: brew@ion.ru; тел.: 8 (495) 698-53-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9371-8163>).

Седова Ирина Борисовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории энзимологии питания (e-mail: isedova@ion.ru; тел.: 8 (495) 698-53-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6011-4515>).

Спиридонова Анастасия Леонидовна – лаборант-исследователь лаборатории энзимологии питания (e-mail: a_1_spiridonova@mail.ru; тел.: 8 (495) 698-53-65; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6075-9963>).

Главлица Моника Иосиповна – лаборант-исследователь лаборатории энзимологии питания (e-mail: glavlicamonika1@mail.ru; тел.: 8 (495) 698-53-65; ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-0673-7097>).

Компаинцева Дарья Михайловна – лаборант-исследователь лаборатории энзимологии питания (e-mail: pestrolistay@mail.ru; тел.: 8 (495) 698-53-65; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5232-8659>).

Иванова Ульяна Валерьевна – лаборант-исследователь лаборатории энзимологии питания (e-mail: ds557@mail.ru; тел.: 8 (495) 698-53-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8962-9133>).

Тутельян Виктор Александрович – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией энзимологии питания, научный руководитель (e-mail: tutelyan@ion.ru; тел.: 8 (495) 698-53-46; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4164-8992>).

делает эту проблему чрезвычайно актуальной [5, 6]. По данным литературы, контаминация АТ подвержено не только продовольственное сырье, но и продукты его переработки, в частности красный перец [2, 7, 8]. Среди АТ реальную угрозу для здоровья населения представляют альтернариол (АОН), его метилвый эфир (АМЕ), тентоксин (ТЕН), тенуазоновая кислота (ТеА) и альтенуен (АЛТ) [9–13]. Из них, по данным Европейского агентства по безопасности пищи (EFSA), наиболее распространены АОН и ТеА [8].

Использование в питании загрязненной АТ пищи может привести к развитию различных заболеваний, например, рака пищевода в китайской провинции Хэнань и заболевания оньялаи в странах Африки [3].

На данный момент не установлено национальных или международных регламентов на содержание АТ в пищевой продукции. Наряду с этим, в странах ЕС для ряда пищевых продуктов введены ориентировочные уровни для ТеА, АОН и АМЕ, превышение которых служит основанием для проведения дополнительных исследований¹.

Перец чили и паприка наиболее восприимчивы к поражению плесенью, продуцирующими МТ, особенно при длительном хранении в неподходящих для этого условиях. При этом методы переработки специй также могут влиять на рост грибов и последующее накопление токсинов [14]. Согласно данным литературы, приоритетными загрязнителями специй являются МТ, продуцируемые плесневыми грибами *Aspergillus* spp. и *Penicillium* spp. [14–17]. Ранее нами показано, что в них афлатоксины и ократоксин А выявляли наиболее часто. В контаминированных перце чили и паприке ТЕН выявляли в 41–57 % случаев, АОН – в 19 % случаев, АМЕ – в 6–14 % и АЛТ – в 6–10 % [16].

Цель исследования – изучение контаминации альтернариатоксинами перца чили и паприки, реализуемых на территории России, и оценка рисков для здоровья населения в РФ.

Материалы и методы. Образцы красного перца отбирали на предприятиях розничной торговли Москвы и Московской области в 2024 г. Исследовано 37 проб, в том числе 20 образцов паприки, 17 – перца чили, произведенных в Узбекистане (15), Индии (6), Испании (6), Китае (3), Армении (2), и, кроме того, 5 проб неизвестного происхождения.

Подготовку образцов для скрининга АТ в специях проводили в соответствии с разработанной методикой. В пробирку типа «фалькон» объемом 50 см³ отбирали измельченную пробу массой 1 г, добавляли 10 см³ дистиллированной воды, взбалтывали до полного смачивания и оставляли для набухания в ультразвуковой ванне Elmasonic S15H (Elma,

Германия) на 10 мин. Затем вносили 10 см³ ацетонитрила, подкисленного 1 % раствором уксусной кислоты, встряхивали на шейкере в течение 10 мин, вновь обрабатывали ультразвуком в течение 10 мин. Добавляли по 1 г NaCl и 4 г безводного MgSO₄, каждый раз интенсивно перемешивая вручную или на вортексе. Экстракт центрифугировали в течение 10 мин при 10 000 об./мин (Hettich, Rotina 38). В пробирку типа «фалькон» объемом 15 см³ переносили 5 см³ супернатанта, добавляли 3 см³ гексана, насыщенного ацетонитрилом, перемешивали на шейкере в течение 20 мин. Центрифугировали в течение 1 мин при скорости не менее 4000 об./мин (Hettich, Rotina 38), отбирали 3 см³ обезжиренного ацетонитрильного слоя и упаривали досуха на роторном испарителе (BioChromato, Япония). Остаток перерастворили в 0,1 см³ метанола, добавляли 0,4 см³ воды. Полученный раствор переносили в пробирку типа «эппендорф» объемом 1,5 см³, центрифугировали в течение 10 мин при 15 000 об./мин на центрифуге SL 16R (Thermo Scientific, США). 0,4 см³ супернатанта помещали в хроматографическую вialу.

Анализ АТ проводили с использованием ВЭЖХ системы Agilent Technologies 1100, состоящей из градиентного насоса, термостата колонок, автосамплера, и соединенной с тройным квадрупольным масс-спектрометрическим детектором (Triple Quad 6400) методом обращенно-фазовой высокоэффективной хроматографии высокого давления с тандемным масс-спектрометрическим детектированием (ВЭЖХ-МС/МС) в режиме электро-распылительной положительной ионизации при атмосферном давлении и динамического мониторинга выбранных переходов (MRM).

Разделение аналитов осуществляли на колонке, заполненной силикагелем с привитыми группами октадецилсилана (Zorbax SB-C18, 150×4,6 мм, 3,5 мкм, размер пор – 80Å, Agilent). В качестве подвижной фазы А использовали смесь воды: ацетонитрила: муравьиной кислоты (95:5:0,1); фазы Б – ацетонитрил: муравьиная кислота (100:0,1). Схема градиента: старт – 0 % В, линейный рост до 75 % В в течение 7 мин, линейный рост до 100 % В в течение 10 мин, уравнивание с 17 до 19 мин – 100 % В, линейное уменьшение до 0 % В в течение 0,5 мин, уравнивание до 25 мин 0 % В. Скорость потока элюента – 0,4 см³/мин; температура колонки – 30 °С; объем вводимой пробы – 20 мм³. Анализ образцов проводили в двух повторностях. Температура колонки – 30 °С. Для количественного определения использовали градуировки на соответствующей «чистой» матрице. Степень извлечения МТ варьировалась от 70 до 91 %, пределы количественного определения (ПКО) метода для ТЕН, АМЕ, АОН, АЛТ и ТеА составили 1, 4, 6, 8 и 20 мкг/кг соответственно.

¹ Commission recommendation (EU) 2022/553 of 5 April 2022 on monitoring the presence of *Alternaria* toxins in food: recommendations [Электронный ресурс] // Official Journal of the European Union. – 2022. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022H0553&from=EN> (дата обращения: 14.05.2024).

Использованы стандарты: АОН (99,3 %), АМЕ (99,77 %), АЛТ (98 %), ТЕН (99,84 %) (Fermentek, Израиль). Исходные растворы этих токсинов готовили в метаноле в концентрации 200 мкг/см³. Стандарт ТеА с концентрацией 100,6 мкг/см³ был получен из компании Romer, Biorure, Австрия. Все исходные растворы хранили при -18 °С.

Результаты и их обсуждение. Изучение частоты и уровня контаминации 37 образцов сушеного красного перца позволило установить, что приоритетными загрязнителями для этого вида продукции являются ТеА (84 %) и ТЕН (40 %) (табл. 1).

Пробы перца чили были в меньшей степени загрязнены АТ, в них была обнаружена только ТеА: частота обнаружения токсина составила 65 %, уровни загрязнения варьировались от 143,6 до 2481,5 мкг/кг, в среднем – 640,4 мкг/кг. При этом в пробах паприки были найдены 4 из 5 изученных АТ: во всех случаях – ТеА в количестве от 143,6 до 2481,5 мкг/кг, в среднем – 1746,9 мкг/кг; в 60 % случаев – ТЕН на низких уровнях загрязнения – до 10,5 мкг/кг. В единичных образцах были найдены АОН и АМЕ в количестве 41,4 и 8,2 мкг/кг.

В отличие от результатов, полученных в нашем исследовании, С. Mujahid et al. выявили в пробах перца чили четыре АТ (ТеА, АОН, АМЕ и ТЕН), причем уровни загрязнения ТеА были значительно выше – от 4510 до 20 478 мкг/кг [18]. Что касается проб паприки, то все исследованные образцы, как в нашем исследовании, так и в [18, 19], были контаминированы ТеА, однако уровни контаминации, по их данным, были значительно выше и достигали 18 856 и 37 300 мкг/кг соответственно.

Более детальное изучение распространенности ТеА в образцах сушеного красного перца показало, что самая высокая частота загрязнения токсином была в пробах, полученных из Испании, Узбекистана. Реже и на низких уровнях загрязнения ТеА выявляли в пробах специй, произведенных в Китае (33 %, в среднем – 740 мкг/кг) и Армении (50 %, 674,2 мкг/кг) (табл. 2). При этом наиболее высокие средние и максимальные уровни загрязнения были в пробах, произведенных в Испании, Индии и Узбекистане. Только в одном образце, импортируемом из Узбекистана, были выявлены одновременно 4 АТ.

60 % изученных образцов паприки были контаминированы двумя и более АТ. В 11 образцах были найдены токсины ТеА и ТЕН; при этом в одном образце были выявлены одновременно 4 АТ – 1234,8 мкг/кг ТеА, 41,4 мкг/кг АОН, 8,2 мкг/кг АМЕ и 7,9 мкг/кг ТЕН. По [18], частота выявления случаев совместного загрязнения паприки тремя и более АТ была выше и составила 88 %, при этом уровни контаминации были выше. При этом одновременное воздействие нескольких АТ может оказывать значительное негативное влияние на общую токсичность, по сравнению с индивидуальным действием [13, 20].

Оценка вклада специй в поступление АТ была проведена с учетом данных о потреблении сушеного красного перца, полученных из базы данных Федеральной Таможенной службы РФ, и полученных в этом исследовании данных об уровнях его загрязнения АТ (табл. 3). Среднее потребление перца чили и паприки для населения РФ – 0,206 г на человека². Показатель средней массы человека – 70 кг. Оценку нагрузки АТ проводили за счет

Таблица 1

Загрязненность образцов сушеного красного перца альтернативными токсинами

Токсин	Количество контаминированных образцов		Диапазон загрязнения, мкг/кг	Среднее содержание МТ в загрязненных образцах, мкг/кг	Содержание МТ в образцах всего ряда, мкг/кг	
	шт.	%			среднее	90 %
<i>Паприка, n = 20</i>						
ТеА	20	100	42,5–3295,4	1746,9	1746,9	2849,40
ТЕН	12	60	1,0–10,5	4,4	2,7	8,1
АОН	1	5	41,4	41,4	2,1	0
АМЕ	1	5	8,2	8,2	0,4	0
АЛТ	0	0	< 8,0			
<i>Перец чили, n = 17</i>						
ТеА	11	65	143,6–2481,5	640,4	943,3	1492,2
АОН	0	0	< 6,0			
АМЕ	0	0	< 4,0			
ТЕН	0	0	< 1,0			
АЛТ	0	0	< 8,0			
<i>Сушеный красный перец, n = 37</i>						
ТеА	31	84	42,5–3295	1225	1462	2604
ТЕН	12	40	1,0–10,5	2,7	1,4	5,6
АОН	1	3	41,4	41,4	1,12	< ПКО
АМЕ	1	3	8,20	8,20	0,22	< ПКО
АЛТ	0	0	< 8,0			

² Федеральная Таможенная служба. Таможенная статистика внешней торговли РФ [Электронный ресурс]. – URL: <http://stat.customs.gov.ru> (дата обращения: 27.05.2024).

Таблица 2

Распространенность тенуазоновой кислоты в образцах сушеного красного перца в зависимости от происхождения

Страна-производитель	Количество изученных образцов	Количество контаминированных образцов		Диапазон загрязнения, мкг/кг	Среднее содержание ТеА в образцах всего ряда, мкг/кг
		шт.	%		
Узбекистан	15	14	93	160,1–2284,3	1549,8
Испания	6	6	100	1588,4–2910,9	2103,0
Индия	6	4	67	42,5–3295,0	1026,4
Китай	3	1	33	2221,3	740,4
Армения	2	1	50	1348,4	674,2
Неизвестно	5	5	100	389,0–2842,6	1508,6

Таблица 3

Средняя расчетная суточная нагрузка альтернариатоксинами на население при потреблении перца чили и паприки

Токсин	Расчетное среднесуточное поступление альтернариатоксина		Порог токсического воздействия (ТТС) токсина, нг/кг м.т. в сут.
	нг/кг м.т.	% от ТТС	
ТеА	3,6	0,24	1500
АОН	0,003	0,13	2,5
АМЕ	0,0005	0,03	2,5
TEN	0,004	0,0003	1500

сравнения среднего рассчитанного суточного поступления с относительной величиной порога токсического воздействия (ТТС) (для ТеА и TEN – 1500 нг/кг м.т., АОН и АМЕ – 2,5 нг/кг м.т.) [2, 8].

Согласно полученным данным, при ежедневном потреблении сушеного красного перца расчетная нагрузка АТ для населения значительно ниже величины их ТТС и не представляет значимого риска для здоровья населения РФ.

Выводы:

1. Установлено, что альтернариатоксины являются загрязнителями сушеного красного перца; приоритетный контаминант – тенуазоновая кислота, частота обнаружения в паприке – 100 % (42,5–3295,4 мкг/кг),

в перце чили – 60 % (143,6–2481,5 мкг/кг). В 65 % случаев выявлено комбинированное загрязнение паприки тенуазоновой кислотой совместно с тентоксином. Частота загрязнения паприки АОН и АМЕ была низкой.

2. Расчетные показатели нагрузки при потреблении паприки и перца чили свидетельствуют о низком поступлении альтернариатоксинов и отсутствии серьезной угрозы для здоровья населения.

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств субсидии Минобрнауки России (на выполнение государственного задания № FGMF-2023-0006).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. *Alternaria* Mycotoxins in Food and Feed: An Overview / L. Escrivá, S. Oueslati, G. Font, L. Manyes // Journal of Food Quality Volume. – 2017. – № 5. – P. 1–20. DOI: 10.1155/2017/1569748
2. Альтернариатоксины как фактор риска для здоровья населения / И.В. Аксенов, И.Б. Седова, З.А. Чалый, В.А. Тутельян // Анализ риска здоровью. – 2023. – № 4. – С. 146–157. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.14
3. *Alternaria* Mycotoxins: An Overview of Toxicity, Metabolism, and Analysis in Food / A. Chen, X. Mao, Q. Sun, Z. Wei, J. Li, Y. You, J. Zhao, G. Jiang [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2021. – Vol. 69, № 28. – P. 7817–7830. DOI: 10.1021/acs.jafc.1c03007
4. Incidence and levels of *Alternaria* mycotoxins in spices and herbs produced worldwide and commercialized in Lebanon / L. Gambacorta, N. El Darra, R. Fakhoury, A.F. Logrieco, M. Solfrizzo // Food Control. – 2019. – Vol. 106. – P. 106724. DOI: 10.1016/j.foodcont.2019.106724
5. Agriopoulou S., Stamatelopoulou E., Varzakas T. Advances in occurrence, importance, and mycotoxin control strategies: Prevention and detoxification in foods // Foods. – 2020. – Vol. 9, № 2. – P. 137. DOI: 10.3390/foods9020137
6. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment / S. Marin, A.J. Ramos, G. Cano-Sancho, V. Sanchis // Food Chem. Toxicol. – 2013. – Vol. 60. – P. 218–237. DOI: 10.1016/j.fct.2013.07.047
7. EFSA on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific Opinion on the risks for animal and public health related to the presence of *Alternaria* toxins in feed and food // EFSA Journal. – 2011. – Vol. 9, № 10. – P. 2407. DOI: 10.2903/j.efsa.2011.2407
8. Dietary exposure assessment to *Alternaria* toxins in the European population / European Food Safety Authority, D. Arcella, M. Eskola, J.A. Gomez Ruiz // EFSA Journal. – 2016. – Vol. 14, № 12. – P. e04654. DOI: 10.2903/j.efsa.2016.4654

9. Mycotoxins from Tomato Pathogenic *Alternaria alternata* and Their Combined Cytotoxic Effects on Human Cell Lines and Male Albino Rats / A.M. Ismail, E.S. Elshewy, S.M. El-Ganainy, D. Magistà, A.F. Hamouda, K.A. Alhudaib, W. Ebrahim, M.I. Almaghlasa // *J. Fungi*. – 2023. – Vol. 9, № 3. – P. 282. DOI: 10.3390/jof9030282
10. Meena M., Samal S. *Alternaria* host-specific (HSTs) toxins: An overview of chemical characterization, target sites, regulation and their toxic effects // *Toxicol. Rep.* – 2019. – Vol. 6. – P. 745–758. DOI: 10.1016/j.toxrep.2019.06.021
11. *In vitro* characterization of hepatic toxicity of *Alternaria* toxins / S. Hessel-Pras, J. Kieshauer, G. Roenn, C. Luckert, A. Braeuning, A. Lampen // *Mycotoxin Res.* – 2019. – Vol. 35, № 2. – P. 157–168. DOI: 10.1007/s12550-018-0339-9
12. Hazard characterization of *Alternaria* toxins to identify data gaps and improve risk assessment for human health / H. Louro, A. Vettorazzi, A. López de Cerain, A. Spyropoulou, A. Solhaug, A. Straumfors, A.-C. Behr, B. Mertens [et al.] // *Arch. Toxicol.* – 2024. – Vol. 98, № 2. – P. 425–469. DOI: 10.1007/s00204-023-03636-8
13. *Alternaria* Toxins – Still Emerging? / G. Aichinger, G.D. Favero, B. Warth, D. Marko // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* – 2021. – Vol. 25, № 5. – P. 4390–4406. DOI: 10.1111/1541-4337.12803
14. Mycotoxins and mycotoxigenic fungi in spices and mixed spices: A review / N. Syamilah, S. Nurul Afifah, M.E. Efarizah, M. Norlia // *Food Res.* – 2022. – Vol. 6, № 4. – P. 30–46. DOI: 10.26656/fr.2017.6(4).971
15. Mycological quality and mycotoxin contamination of Sri Lankan peppers (*Piper nigrum* L.) and subsequent exposure assessment / P. Yogendrarajah, N. Deschuyffeleer, L. Jacxsens, P.-J. Sneyers, P. Maene, S. De Saeger, F. Devlieghere, B. De Meulenaer // *Food Control.* – 2014. – Vol. 41, № 1. – P. 219–230. DOI: 10.1016/j.foodcont.2014.01.025
16. Микотоксины в специях, потребляемых в России / З.А. Чалый, М.Г. Киселева, И.Б. Седова, В.А. Тутельян // *Вопросы питания.* – 2023. – Т. 92, № 2 (546). – С. 26–34. DOI: 10.33029/0042-8833-2023-92-2-26-34
17. Risk of exposure to aflatoxin B1, ochratoxin A, and fumonisin B1 from spices used routinely in Lebanese cooking / M. Al Ayoubi, M. Solfrizzo, L. Gambacorta, I. Watson, N. El Darra // *Food Chem. Toxicol.* – 2021. – Vol. 147. – P. 111895. DOI: 10.1016/j.fct.2020.111895
18. Levels of *Alternaria* Toxins in Selected Food Commodities Including Green Coffee / C. Mujahid, M.-C. Savoy, Q. Baslé, P.M. Woo, E.C.Y. Ee, P. Mottier, T. Bessaire // *Toxins (Basel)*. – 2020. – Vol. 12, № 9. – P. 595. DOI: 10.3390/toxins12090595
19. Asam S., Habler K., Rychlik M. Determination of tenuazonic acid in human urine by means of a stable isotope dilution assay // *Anal. Bioanal. Chem.* – 2013. – Vol. 405, № 12. – P. 4149–4158. DOI: 10.1007/s00216-013-6793-5
20. Co-Occurrence and Combinatory Effects of *Alternaria* Mycotoxins and other Xenobiotics of Food Origin: Current Scenario and Future Perspectives / F. Crudo, E. Varga, G. Aichinger, G. Galaverna, D. Marko, C. Dall'Asta, L. Dellafiora // *Toxins (Basel)*. – 2019 – Vol. 11, № 11. – P. 640. DOI: 10.3390/toxins11110640

Результаты оценки контаминации перца чили и паприки альтернариатоксинами как факторы риска здоровью / З.А. Чалый, И.Б. Седова, А.Л. Спиридонова, М.И. Главица, Д.М. Компайнцева, У.В. Иванова, В.А. Тутельян // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 3. – С. 30–36. DOI: 10.21668/health.risk/2024.3.04

UDC 614.31:543.51:543.544.5.068.7:543.64
DOI: 10.21668/health.risk/2024.3.04.eng

Read
online



Research article

STUDY OF CHILI PEPPERS AND PAPRIKA CONTAMINATION WITH *ALTERNARIA* TOXINS AS HEALTH RISK FACTORS

Z.A. Chalyy¹, I.B. Sedova¹, A.L. Spiridonova¹, M.I. Glavica¹, D.M. Kompaintseva¹, U.V. Ivanova¹, V.A. Tutelyan^{1,2}

¹Federal Research Centre of Nutrition and Biotechnology, 2/14 Ust'inskii pr., Moscow, 109240, Russian Federation

²Sechenov University, 8/2 Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russian Federation

*At present, researchers show considerable interest in unregulated toxins of widespread fungi in nature, in particular, metabolites of microfungi of *Alternaria* genus. These toxins are potentially hazardous for human health and, under unfavorable conditions, capable of producing toxic metabolites, *Alternaria* toxins (AT), which have shown genotoxicity, mutagenicity and acute toxic effects. They are frequently detected not only in cereals and oilseeds, fruits, nuts, vegetables, but also in spices, especially dried red peppers.*

The aim of the study was to investigate the occurrence of *Alternaria* toxins in paprika and chili peppers sold on the domestic market as well as to assess their intakes by humans through their consumption.

Concentration of 5 *Alternaria* toxins (*alternatiol* (AOH), *alternariol monomethyl ether* (AME), *altenuene* (ALT), *tentoxin* (TEN), *tenuazonic acid* (TeA)) was detected in 37 samples of dried red peppers marketed in Moscow and Moscow region in 2024 year including paprika (20 samples) and chili pepper (17 samples). The analysis of *Alternaria* toxins contamination was carried out by high-performance liquid chromatography coupled to tandem mass-spectrometric detection (HPLC-MS/MS).

TeA was detected in 84 % of red pepper samples in concentration from 43 to 3295 µg/kg and TEN – in 40 % cases, in low levels ranging from 1.0 to 11 µg/kg. The occurrence of AT in paprika was higher than in chili pepper. Combined (2 or more toxins) contamination with *Alternaria* toxins was found only in paprika samples (65 %; the predominant combination is TeA and TEN). Intakes of *Alternaria* toxins associated with consumption of chili and paprika did not exceed the reference values and ranged from 0.0003 % (for TEN) to 0.24 % (for TeA) of the threshold of toxicological concern (TTC).

Keywords: *Alternaria* toxins, tenuazonic acid, tentoxin, paprika, chili pepper, contamination, HPLC-MS/MS, risk assessment.

References

1. Escrivá L., Oueslati S., Font G., Manyes L. *Alternaria* Mycotoxins in Food and Feed: An Overview. *Journal of Food Quality* Volume, 2017, no. 5, pp. 1–20. DOI: 10.1155/2017/1569748
2. Aksenov I.V., Sedova I.B., Chalyy Z.A., Tutelyan V.A. *Alternaria* toxins as a risk factor for population health. *Health Risk Analysis*, 2023, no. 4, pp. 146–157. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.14.eng
3. Chen A., Mao X., Sun Q., Wei Z., Li J., You Y., Zhao J., Jiang G. [et al.]. *Alternaria* Mycotoxins: An Overview of Toxicity, Metabolism, and Analysis in Food. *J. Agric. Food Chem.*, 2021, vol. 69, no. 28, pp. 7817–7830. DOI: 10.1021/acs.jafc.1c03007
4. Gambacorta L., El Darra N., Fakhoury R., Logrieco A.F., Solfrizzo M. Incidence and levels of *Alternaria* mycotoxins in spices and herbs produced worldwide and commercialized in Lebanon. *Food Control*, 2019, vol. 106, pp. 106724. DOI: 10.1016/j.foodcont.2019.106724
5. Agriopoulou S., Stamatelopoulou E., Varzakas T. Advances in occurrence, importance, and mycotoxin control strategies: Prevention and detoxification in foods. *Foods*, 2020, vol. 9, no. 2, pp. 137. DOI: 10.3390/foods9020137
6. Marin S., Ramos A.J., Cano-Sancho G., Sanchis V. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food Chem. Toxicol.*, 2013, vol. 60, pp. 218–237. DOI: 10.1016/j.fct.2013.07.047
7. EFSA on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific Opinion on the risks for animal and public health related to the presence of *Alternaria* toxins in feed and food. *EFSA Journal*, 2011, vol. 9, no. 10, pp. 2407. DOI: 10.2903/j.efsa.2011.2407
8. European Food Safety Authority, Arcella D., Eskola M., Gomez Ruiz J.A. Dietary exposure assessment to *Alternaria* toxins in the European population, EFSA report. *EFSA Journal*, 2016, vol. 14, no. 12, pp. e04654. DOI: 10.2903/j.efsa.2016.465
9. Ismail A.M., Elshewy E.S., El-Ganainy S.M., Magistà D., Hamouda A.F., Alhudaib K.A., Ebrahim W., Almaghasla M.I. Mycotoxins from Tomato Pathogenic *Alternaria alternata* and Their Combined Cytotoxic Effects on Human Cell Lines and Male Albino Rats. *J. Fungi*, 2023, vol. 9, no. 3, pp. 282. DOI: 10.3390/jof9030282
10. Meena M., Samal S. *Alternaria* host-specific (HSTs) toxins: An overview of chemical characterization, target sites, regulation and their toxic effects. *Toxicol. Rep.*, 2019, vol. 6, pp. 745–758. DOI: 10.1016/j.toxrep.2019.06.021
11. Hessel-Pras S., Kieshauer J., Roenn G., Luckert C., Braeuning A., Lampen A. In vitro characterization of hepatic toxicity of *Alternaria* toxins. *Mycotoxin Res.*, 2019, vol. 35, no. 2, pp. 157–168. DOI: 10.1007/s12550-018-0339-9

© Chalyy Z.A., Sedova I.B., Spiridonova A.L., Glavica M.I., Kompaintseva D.M., Ivanova U.V., Tutelyan V.A., 2024
Zakhar A. Chalyy – Junior Researcher at the Laboratory of Nutrition Enzymology (e-mail: brew@ion.ru; tel.: +7 (495) 698-53-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9371-8163>).

Irina B. Sedova – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Nutrition Enzymology (e-mail: isedova@ion.ru; tel.: +7 (495) 698-53-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6011-4515>).

Anastasia L. Spiridonova – Laboratory Researcher of the Laboratory of Nutrition Enzymology (e-mail: a_l_spiridonova@mail.ru; tel.: +7 (495) 698-53-65; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6075-9963>).

Monika I. Glavica – Laboratory Researcher of the Laboratory of Nutrition Enzymology (e-mail: glavicamonika1@mail.ru; tel.: +7 (495) 698-53-65; ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-0673-7097>).

Darya M. Kompaintseva – Laboratory Researcher of the Laboratory of Nutrition Enzymology (e-mail: pestrolistay@mail.ru; tel.: +7 (495) 698-53-65; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5232-8659>).

Ulyana V. Ivanova – Laboratory Researcher of the Laboratory of Nutrition Enzymology (e-mail: ds557@mail.ru; tel.: +7 (495) 698-53-65; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8962-9133>).

Victor A. Tutelyan – academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Nutrition Enzymology, Scientific Supervisor (e-mail: tutelyan@ion.ru; tel.: +7 (495) 698-53-46; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4164-8992>).

12. Louro H., Vettorazzi A., López de Cerain A., Spyropoulou A., Solhaug A., Straumfors A., Behr A.-C., Mertens B. [et al.]. Hazard characterization of *Alternaria* toxins to identify data gaps and improve risk assessment for human health. *Arch. Toxicol.*, 2024, vol. 98, no. 2, pp. 425–469. DOI: 10.1007/s00204-023-03636-8
13. Aichinger G., Favero G.D., Warth B., Marko D. *Alternaria* Toxins—Still Emerging? *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 2021, vol. 20, no. 5, pp. 4390–4406. DOI: 10.1111/1541-4337.12803
14. Syamilah N., Nurul Afifah S., Effarizah M.E., Norlia M. Mycotoxins and mycotoxigenic fungi in spices and mixed spices: A review. *Food Res.*, 2022, vol. 6, no. 4, pp. 30–46. DOI: 10.26656/fr.2017.6(4).971
15. Yogendrarajah P., Deschuyffeleer N., Jacxsens L., Sneyers P.-J., Maene P., De Saeger S., Devlieghere F., De Meulenaer B. Mycological quality and mycotoxin contamination of Sri Lankan peppers (*Piper nigrum* L.) and subsequent exposure assessment. *Food Control*, 2014, vol. 41, no. 1, pp. 219–230. DOI: 10.1016/j.foodcont.2014.01.025
16. Chalyy Z.A., Kiseleva M.G., Sedova I.B., Tutelyan V.A. Mycotoxins in spices consumed in Russia. *Voprosy pitaniya*, 2023, vol. 92, no. 2 (546), pp. 26–34. DOI: 10.33029/0042-8833-2023-92-2-26-34 (in Russian).
17. Al Ayoubi M., Solfrizzo M., Gambacorta L., Watson I., El Darra N. Risk of exposure to aflatoxin B1, ochratoxin A, and fumonisin B1 from spices used routinely in Lebanese cooking. *Food Chem. Toxicol.*, 2021, vol. 147, pp. 111895. DOI: 10.1016/j.fct.2020.111895
18. Mujahid C., Savoy M.-C., Baslé Q., Woo P.M., Ee E.C.Y., Mottier P., Bessaire T. Levels of *Alternaria* toxins in selected food commodities including green coffee. *Toxins (Basel)*, 2020, vol. 12, no. 9, pp. 595. DOI: 10.3390/toxins12090595
19. Asam S., Habler K., Rychlik M. Determination of tenuazonic acid in human urine by means of a stable isotope dilution assay. *Anal. Bioanal. Chem.*, 2013, vol. 405, no. 12, pp. 4149–4158. DOI: 10.1007/s00216-013-6793-5
20. Crudo F., Varga E., Aichinger G., Galaverna G., Marko D., Dall'Asta C., Dellafiora L. Co-Occurrence and Combinatory Effects of *Alternaria* Mycotoxins and other Xenobiotics of Food Origin: Current Scenario and Future Perspectives. *Toxins (Basel)*, 2019, vol. 11, no. 11, pp. 640. DOI: 10.3390/toxins11110640

Chalyy Z.A., Sedova I.B., Spiridonova A.L., Glavica M.I., Kompaintseva D.M., Ivanova U.V., Tutelyan V.A. Study of chili peppers and paprika contamination with *alternaria* toxins as health risk factors. *Health Risk Analysis*, 2024, no. 3, pp. 30–36. DOI: 10.21668/health.risk/2024.3.04.eng

Получена: 25.07.2024

Одобрена: 17.09.2024

Принята к публикации: 20.09.2024