

Химические загрязнители готовой продукции: контроль и снижение уровней контаминации (Обзор предметного поля)

О.И. Лаврухина^{1,2}, Д.А. Макаров¹, Е.С. Козеичева¹, Т.В. Балагула³, А.В. Третьяков¹, М.А. Гергель¹, Е.А. Лозовая¹

¹ Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов, г. Москва, Российская Федерация

² Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир, Российская Федерация

³ Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору, г. Москва, Российская Федерация

Корреспонденция:
Лаврухина Ольга Игоревна
E-mail: hamsster@mail.ru

Конфликт интересов:
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 13.02.2025

Принята: 15.06.2025

Опубликована: 30.06.2025

Финансирование:
Работа выполнена на базе ФГБУ «ВГНКИ»

Copyright: © 2025 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение: Безопасность готовой пищевой продукции предполагает контроль загрязнения на всех этапах её жизненного цикла — от получения продовольственного сырья до хранения и распределения. С учётом внедрения новых технологий и материалов в химической, фармацевтической, пищевой и аграрной отраслях, а также обновлённых данных о токсичности отдельных соединений, возникает необходимость регулярной актуализации сведений о потенциальных загрязнителях, методах их контроля и способах снижения уровней контаминации.

Цель: Представить актуализированную картину химической контаминации пищевой продукции, с охватом основных этапов её формирования (сырьё, производство, упаковка, хранение), современных методов определения загрязнителей и подходов к снижению их содержания.

Материалы и методы: Поиск научных публикаций осуществлялся в базах данных Scopus, ScienceDirect, PubMed и РИНЦ с охватом источников с 2011 по 2024 гг. В качестве поисковых дескрипторов использовались: chemical contamination (химическое загрязнение), chemical risk/hazards (химический риск / химические угрозы), food raw materials (продовольственное сырьё), ready-to-eat products/dishes (готовые к употреблению продукты / блюда), processed food (переработанная продукция). Отбор источников проводился по протоколу PRISMA-ScR с использованием менеджера ссылок Mendeley. Для визуального картографирования данных применялись табличные средства Microsoft Excel. Дополнительно были проанализированы сведения из системы «Ветис» (компонент «Веста») и официальные данные компетентных ведомств РФ и зарубежных стран (включая Роспотребнадзор и ANSES).

Результаты: В условиях активного технологического развития перечень химических загрязнителей значительно расширился за счёт микро- и нанопластика, а также продуктов трансформации фармацевтических веществ и пестицидов. Анализ остаточных количеств антибиотиков (2020–2024 гг.) в животноводческом сырье и готовой продукции показал регулярное выявление фторхинолонов, тетрациклинов, пенициллинов, амфениколов и сульфаниламидов. Перспективным направлением является применение природных биологически активных веществ, способных одновременно снижать контаминацию (в частности, ПАУ и нитрозамины) и заменять синтетические пищевые добавки. Выявлена необходимость в разработке чувствительных и надёжных аналитических методик, обеспечивающих идентификацию как давно известных, так и новых загрязнителей.

Выводы: Результаты данного обзора могут быть использованы при планировании программ государственного и производственного мониторинга, а также при разработке мер по совершенствованию контроля химической безопасности на предприятиях пищевой отрасли.

Ключевые слова: контаминация продовольственного сырья; безопасность готовой продукции; химические загрязнители; риск загрязнения; методы анализа; снижение уровня загрязнения



Для цитирования: Лаврухина О.И., Макаров Д.А., Козеичева Е.С., Балагула Т.В., Третьяков А.В., Гергель М.А., Лозовая Е.А. (2025) Химические загрязнители готовой продукции: контроль и снижение уровней контаминации (Обзор предметного поля). *FOOD METAENGINEERING*. 3(2). 27–78. <https://doi.org/10.37442/fme.2025.2.78>

Chemical Contaminants in Ready-to-Eat Food Products: Control and Contamination Mitigation (A Scoping Review)

Olga I. Lavrukhnina^{1,2}, Dmitry A. Makarov¹, Elizaveta S. Kozeicheva¹, Tatiana V. Balagula³, Alexey V. Tretyakov¹, Maria A. Gergel¹, Evgeniya A. Lozovaya¹

¹ The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality, Moscow, Russian Federation

² Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir, Russian Federation

³ Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: Ensuring the safety of ready-to-eat food products requires contamination control at all stages of their life cycle—from the procurement of food raw materials to storage and distribution. In light of the introduction of new technologies and materials in the chemical, pharmaceutical, food, and agricultural sectors, as well as updated data on the toxicity of certain compounds, there is a growing need to regularly update information on potential food contaminants, methods for their detection, and strategies for reducing contamination levels.

Purpose: To provide an updated overview of chemical contamination in food products, covering key stages of its formation (raw materials, production, packaging, storage), modern methods of contaminant detection, and approaches to reducing their presence.

Materials and Methods: The literature search was conducted in the Scopus, ScienceDirect, PubMed, and RSCI databases, covering sources published between 2011 and 2024. The following descriptors were used: *chemical contamination, chemical risk/hazards, food raw materials, ready-to-eat products/dishes, processed food*. Source selection followed the PRISMA-ScR protocol, using Mendeley as a reference manager. Microsoft Excel was used for bibliographic mapping and data visualization. Additional information was drawn from the Russian national veterinary information system Vetis (component “Vesta”) and official reports from relevant regulatory agencies in Russia and abroad (including Rospotrebnadzor and ANSES).

Results: Against the backdrop of rapid technological advancement, the range of chemical contaminants has expanded significantly, particularly due to the inclusion of micro- and nanoplastics as well as transformation products of pharmaceutical substances and pesticides. Analysis of antibiotic residues in livestock raw materials and processed products (2020–2024) indicates frequent detection of fluoroquinolones, tetracyclines, penicillins, amphenicols, and sulfonamides. A promising direction involves the use of natural bioactive compounds that not only help reduce contamination (especially from polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and nitrosamines) but also serve as alternatives to synthetic food additives. The need for highly sensitive and reliable analytical methods capable of detecting both long-established and emerging contaminants has been clearly identified.

Conclusion: The results of this scoping review may be applied in the planning and implementation of governmental and industrial food safety monitoring programs, as well as in the development of improved chemical safety control measures for food production facilities.

Keywords: contamination of food raw materials; ready-to-eat product safety; chemical contaminants; contamination risk; analytical methods; contamination mitigation

Correspondence:

Olga I. Lavrukhnina

E-mail: hamsster@mail.ru

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 13.02.2025

Accepted: 15.06.2025

Published: 30.06.2025

Funding:

The research was performed on the base FGBI «VGNKI».

Copyright: © 2025 The Authors



To cite: Lavrukhnina O.I., Makarov D.A., Kozeicheva E.S., Balagula T.V., Tretyakov A.V., Gergel M.A., Lozovaya E.A. (2025) Chemical Contaminants in Ready-to-Eat Food Products: Control and Contamination Mitigation (A Scoping Review). *FOOD METAENGINEERING*. 3(2). 27–78. <https://doi.org/10.37442/fme.2025.2.78>

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение химической безопасности пищевых продуктов относится к приоритетным задачам национальных систем здравоохранения и продовольственного контроля, поскольку напрямую связано с предупреждением хронических заболеваний, снижением токсикологической нагрузки и защитой репродуктивного здоровья. Безопасность пищевой продукции предполагает отсутствие недопустимых рисков, обусловленных действием вредных веществ как на потребителя, так и на будущие поколения¹. Готовые к употреблению продукты, особенно переработанные блюда смешанного состава, представляют собой критическую категорию с точки зрения химической безопасности, поскольку их контаминация может происходить на любом этапе пищевой цепи (от получения продовольственного сырья до стадий упаковки, хранения и транспортировки).

Наибольшую обеспокоенность в контексте пищевой контаминации вызывают вещества химической природы. Хотя перечень известных загрязнителей уже достаточно подробно охарактеризован в научной и нормативной литературе (см. Лаврухина и соавт., 2017), развитие аналитических методик, в том числе высокочувствительных инструментальных подходов, способствует расширению знания о новых соединениях и продуктах их трансформации. Эти вещества всё чаще рассматриваются как потенциально опасные и относятся к категории «новых» загрязнителей. Несмотря на растущий объём эмпирических данных, систематические обзоры, посвящённые химической контаминации именно готовой продукции, остаются крайне ограниченными. Одним из немногих фундаментальных исследований в этом направлении является работа Nerín et al. (2016), сосредоточенная, в первую очередь, на миграции соединений из упаковки. Отсутствие комплексных и актуализированных обобщений, охватывающих не только источники загрязнения, но и меры по их контролю и снижению, подтверждает актуальность и научную необходимость проведения настоящего обзора.

Вопросу оценки риска химической контаминации в настоящее время посвящён ряд методологических решений, различающихся по сложности, точности и области применения. Одним из наиболее научно обоснованных

подходов является расчёт соотношения риска и пользы, реализованный, в частности, в отношении потребления морепродуктов (Thomsen et al., 2022). Альтернативную методику предложили Van der Fels-Klerx et al. (2018), применив библиометрическое агрегирование данных из Scopus, CAB Abstracts, Web of Science и PubMed для ранжирования угроз и приоритизации управленческих решений. Существенную роль в работе с разнотипными данными играют и методы многокритериального анализа, подробно описанные в отчётах FAO (2017). Эти подходы позволяют сопоставлять риски разной природы, но требуют высокой степени исходной структурированности данных. Новейшие попытки интеграции химических, микробиологических и нутритивных аспектов реализуются через форматы комбинированной оценки, получившие развитие в рамках оценки готовой продукции.

Существенный шаг к объединению различных групп рисков предпринят в исследовании Poissant et al. (2023), в котором предложен интегративный подход к ранжированию пищевых продуктов по микробиологическим, химическим и нутритивным рискам. Исследование опирается на данные французского агентства по безопасности продуктов питания, окружающей среды и охраны труда (ANSES, 2019) и охватывает широкий спектр готовых к употреблению блюд, содержащих мясо, птицу, рыбу, яйца, молочные продукты, зерновые, макароны, овощи, морские водоросли и разнообразные соусы. Продукция классифицировалась по типу термической обработки (стерилизация, пастеризация, заморозка, отсутствие обработки), а также с учётом упаковки, условий хранения и маркировки. В результате был сформирован перечень наиболее значимых загрязнителей, включая акриламид, ПАУ (например, бензофлуорен, дибензо[а, h]пирен), диоксины и ПХБ, пер- и полифторалкильные вещества, органобромированные соединения (α -, β -, γ -гексабромциклододекан), тяжёлые металлы (Al, V, Cr и др.), фитотоксины (например, генистеин), микотоксины (афлатоксины B1, B2, G1), добавки (нитриты, сульфиты, аннато), остатки пестицидов (бифентрин, карбендазим, диметоат), а также контаминанты из упаковки (например, бисфенол А). Несмотря на доступность предложенной схемы, сами авторы подчёркивают необходимость дальнейшей валидации и оценки

¹ Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (с изменениями на 22 апреля 2024 года). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560#7D20K3> (дата обращения: 01.02.2025).

универсальности предложенной модели для иных категорий продукции и других стран.

Настоящий обзор предметного поля направлен на восполнение существующего пробела путём систематизации сведений о химической контаминации готовой пищевой продукции. Особое внимание уделяется (1) основным источникам загрязнения, включая переработку загрязнённого продовольственного сырья; (2) современным данным о трансформационных и «новых» загрязнителях, обладающих потенциальной токсичностью; (3) стратегиям снижения уровней остаточных загрязнителей на разных этапах пищевой цепи; и (4) аналитическим подходам, используемым в научной практике и контролирующих структурах для идентификации и количественного определения загрязняющих веществ в сложных пищевых матрицах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Представленный обзор предметного поля выполнен с использованием протокола PRISMA-ScR. Протокол был зарегистрирован в Open Science Framework (<https://osf.io/rehd2>). Авторы подтверждают, что данная рукопись представляет собой прозрачный, точный и честный отчет о проведённом исследовании.

Поисковые стратегии

Базы данных

Поиск научной литературы осуществлялся по наиболее авторитетным базам данных научного цитирования Scopus, ScienceDirect, PubMed и РИНЦ на английском и русском языке.

Сведения о выявлении в продовольственном сырье и пищевой продукции остаточных содержаний химических загрязнителей получены с использованием Федеральной государственной информационной системы в области ветеринарии (Ветис, компонент «Веста»¹) и открытых данных отечественных и зарубежных компетентных ведомств в области обеспечения пищевой безопасности (Роспотребнадзор, Национальное агентство по безопасности пищевых продуктов, окружающей среды и охране труда Франции, *англ.* Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail — ANSES).

Ключевые слова и поисковый запрос

При поиске научной литературы использованы дескрипторы: chemical contamination (химическое загрязнение), chemical risk/hazards (химический риск/угрозы), food raw materials (продовольственное сырье), ready-to-eat products/dishes (готовые продукты/блюда), processed food (переработанная продукция). Сортировка осуществлялась по релевантности.

Углубленный поиск включал типы публикаций: Review articles, Research articles, Encyclopedia, Book chapters, Case reports, Discussion, Editorials, Mini reviews, News, Other; «Subject area»: Materials Science, Chemical Engineering, Chemistry, Agricultural and Biological Sciences, Veterinary Science and Veterinary Medicine. В связи с междисциплинарным характером научных работ по теме работы поиск в РИНЦ был ограничен несколькими направлениями: Химия, Пищевая промышленность, Сельское и лесное хозяйство, Рыбное хозяйство, Аквакультура, Биотехнология.

Процесс отбора

Полученные результаты поиска анализировались и отбирались в соответствии с протоколом PRISMA-ScR. На первом этапе исследования список публикаций, а также информация о них была загружена ручном формате по идентификатору DOI (в случае его отсутствия по названию, авторам, году, источнику) в менеджер ссылок "Mendeley", полные тексты статей были подгружены в формате .pdf. Далее, список публикаций в "Mendeley" был проверен на наличие дубликатов. Обнаруженные дубликаты были исключены. После исключения дубликатов статьи подвергались скринингу на соответствие критериям отбора в два этапа. Сначала анализ реализовывался по названию и аннотации, а затем по полному тексту. Все прошедшие отбор публикации далее были включены в обзор предметного поля.

Картографический анализ выполнен с использованием табличного редактора Excel компании Microsoft после импорта библиографических данных, выгруженных из менеджера ссылок "Mendeley" в XML-формате.

¹ «Веста» / Государственная информационная система в области ветеринарии «Ветис». <https://www.vetrif.ru/vetrif/vesta.html>.

Критерии включения источников

- (1) Сортировка и выбор источников осуществлён по релевантности и числу цитирований.
- (2) Доступность (возможность максимально полно ознакомиться с литературным источником).
- (3) Глубина архива — 15 лет.
- (4) Основные виды готовой продукции, для которых актуализирована информация: мясная, молочная, рыбная продукция и морепродукты; яйца; овощи и фрукты; орехи; зерновая продукция; продукция смешанного состава.

Критерии исключения источников

- (1) Исключены из результатов поиска учебные пособия и патенты.
- (2) Критерии поиска информации в научной литературе ограничены анализом данных за последние 5 лет о выявлении в продовольственном сырье и пищевой продукции остаточных содержаний химических загрязнителей.
- (3) В работе не принимали во внимание загрязнители, имеющие физическую и микробиологическую природу, а также попадающие в конечный продукт в результате преднамеренной фальсификации.

Извлечение данных

Из отобранных работ была извлечена следующая информация: имена авторов и информация о странах происхождения и типе публикации, цель и дизайн исследования, выводы, год публикации и DOI. Отобранные по названию и аннотации релевантные статьи анализировались полнотекстово (Приложение 1).

Синтез данных

Систематизация и обобщение данных проводились с использованием элементов картографического анализа, характерного для обзоров предметного поля. После удаления дублирующихся записей и исключения нерелевантных источников, отобранные публикации и документы были подвергнуты тематическому кодированию на основе трёх аналитических осей: (1) источники и механизмы химической контаминации, (2) меры контроля и снижения уровней загрязнения, (3) применяемые аналитические методы определения загрязнителей. Первичный обзор содержания проводился вручную, с предварительной категоризацией заголовков

и аннотаций, после чего выполнялся углублённый анализ полных текстов, если публикация соответствовала критериям включения.

Для визуальной организации и предварительной классификации использовались табличные средства Microsoft Excel. В частности, была реализована логика двумерного сопоставления: с одной стороны — тип продукта (мясное сырьё, готовая продукция, полуфабрикаты и др.), с другой — класс загрязнителя (антибиотики, ПАУ, мигранты из упаковки и др.). Дополнительно выделялись подкатегории по методу анализа (спектрометрия, хроматография, экспресс-методы и пр.) и типу используемой регуляторной базы (международная, национальная, ведомственная).

Отдельно обрабатывались данные мониторинга из системы «Ветис» (компонент «Веста») и отчётов компетентных ведомств, таких как Роспотребнадзор (РФ) и ANSES (Франция). Для сопоставления международных и отечественных практик контроля применялся принцип сквозного тематического кодирования, при котором выявленные категории загрязнителей отслеживались в разных источниках с фиксацией различий в частоте обнаружения, нормативных значениях и контексте применения аналитических методик.

Итоговый синтез результатов не преследовал цели количественной обобщающей оценки, а был направлен на структурное картографирование исследовательского поля, выявление лакун и закрепившихся направлений анализа, а также на формулирование направлений для последующего изучения. Этот подход соответствует целям обзора предметного поля и обеспечивает риторическую и жанровую согласованность между структурой исследования и его задачами.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Поиск и отбор источников

В результате систематического поиска по базам данных Scopus, ScienceDirect, PubMed и РИНЦ было первоначально найдено 2949 публикаций, соответствующих критериям поиска (Scopus — 402, ScienceDirect — 390, PubMed — 1848 и РИНЦ — 309), из них отобрано 208 публикаций, потенциально соответствующих целям обзора. На этапе предварительной фильтрации были исключены 21 работа: 13 из-за отсутствия доступа к полному тексту и 8 ввиду несоответствия жанровым

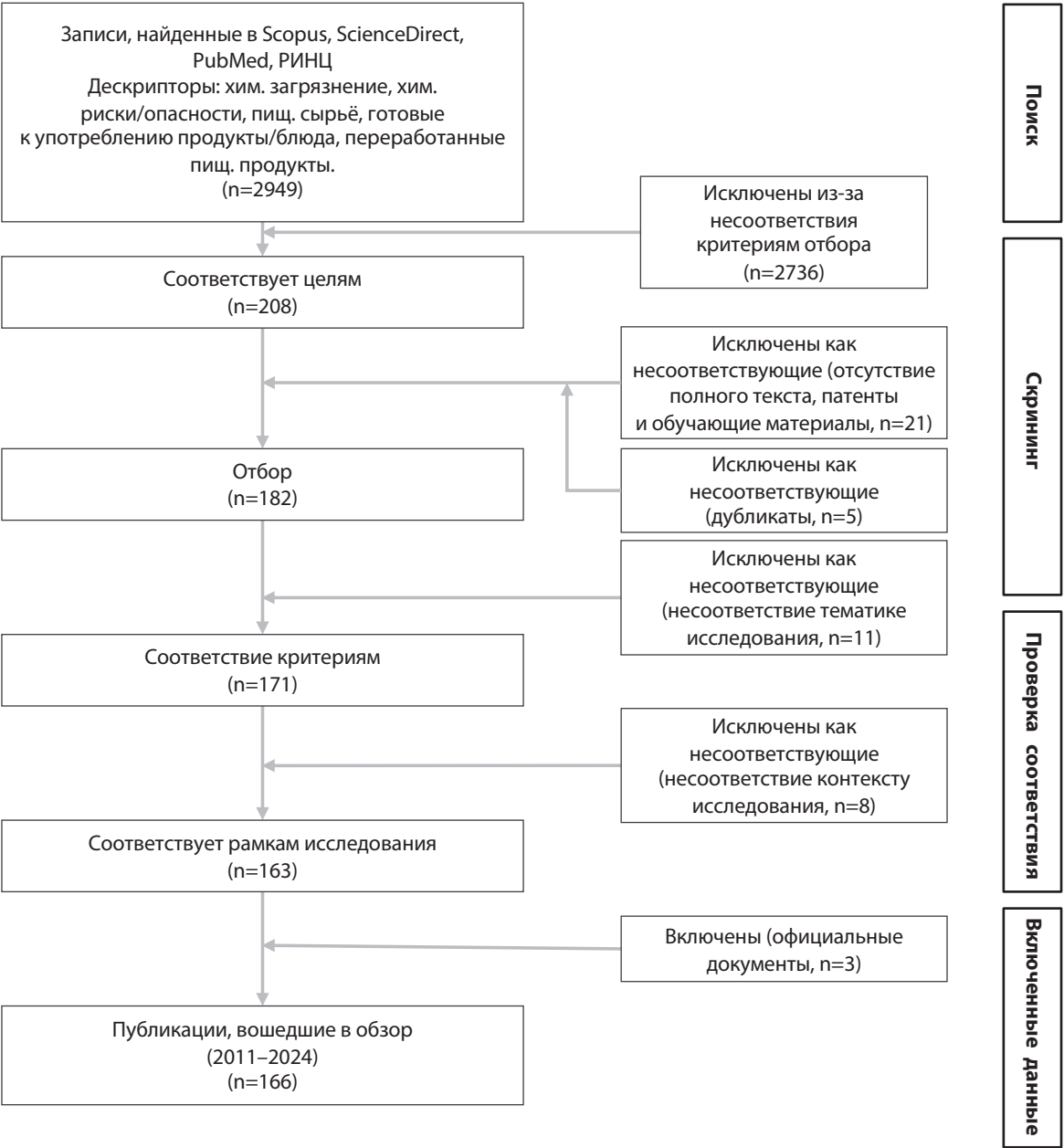
О.И. Лаврухина, Д.А. Макаров, Е.С. Козеичева, Т.В. Балагула, А.В. Третьяков, М.А. Гергель, Е.А. Лозовая

критериям (включая патенты и учебные пособия). После удаления в менеджере ссылок “Mendeley” (Action: Keep this reference only) 5 дубликатов (ScienceDirect и PubMed) к этапу скрининга по названиям и аннотациям было допущено 182 публикаций, из которых исключено ещё 11 по причине тематического расхождения. На стадии полнотекстового анализа 8 публикаций были исключены как не соответствующие контексту

исследования. Дополнительно были включены 3 целевых отчёта международных организаций (FAO, WHO), отобранные по результатам анализа пристатейных библиографических списков. Итоговая выборка составила 166 источников, из которых 84,7% представляют собой рецензируемые статьи, опубликованные в научных журналах. Диаграмма отбора источников представлена на Рисунке 1.

Рисунок 1
Диаграмма PRISMA

Figure 1
PRISMA Flowchart



Характеристики корпуса публикаций

Анализ временного распределения публикаций показывает, что 86,5 % источников опубликованы в последние десять лет (2014–2024 гг.), причём пик приходится на 2023 год (16,6 %). Географическая структура авторства охватывает 42 страны. Наиболее продуктивными оказались исследовательские коллективы из Китая (13,0 %), России (11,2 %) и США (8,7 %), за которыми следуют Испания (6,7 %) и Италия (6,2 %). Международные авторские коллективы представлены в 5 % публикаций. Визуальное распределение стран-источников отражено на Рисунке 2.

Первичные аффилиации авторов большинства публикаций относятся к академическим учреждениям — университетам и исследовательским институтам. Вместе с тем в корпусе присутствуют и документы, подготовленные профильными государственными ведомствами и аналитическими центрами (3,6 %), что расширяет спектр типов источников.

Структура и логика тематического синтеза

Содержание включённых публикаций было подвергнуто структурному тематическому кодированию по трём ключевым аналитическим направлениям: (1) источники загрязнения, (2) стратегии снижения контаминации, (3) применяемые методы анализа. Такой подход позволил осуществить двухуровневую классификацию данных по типам продукции и классам загрязнителей. Для визуализации была составлена аналитическая матрица (см. Таблица 2), в которой отражены типовые сочетания объектов анализа и типов загрязнителей.

Ниже приведены результаты тематического синтеза, сгруппированные по происхождению загрязнителей: из сырья, образующиеся при переработке, поступающие из упаковки, а также обусловленные условиями хранения и комплексным составом продукции. В каждом блоке обсуждаются наиболее часто выявляемые вещества, их механизмы поступления в продукцию и существующие аналитические подходы к их обнаружению. Также

Рисунок 2

Распределение публикаций (%) по теме обзора по странам (2011–2024 гг.)

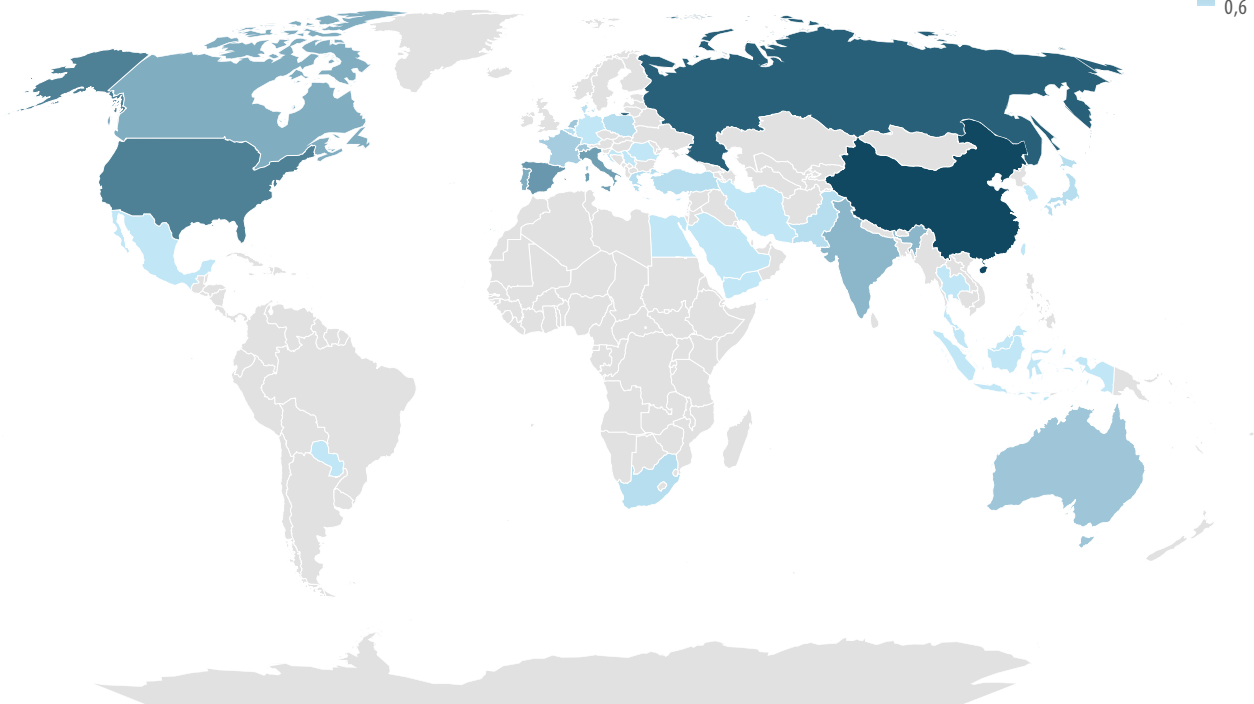
Figure 2

Percentage Distribution of Publications on the Review Topic by Country (2011–2024)

Количество публикаций, %

13,0

0,6



О.И. Лаврухина, Д.А. Макаров, Е.С. Козеичева, Т.В. Балагула, А.В. Третьяков, М.А. Гергель, Е.А. Лозовая

приводятся данные официального мониторинга за 2020–2024 гг. (ГИС «Ветис», компонент «Веста») и ключевые выводы из научных публикаций, вошедших в обзор.

Таблица 2

Потенциальные загрязнители готовой к употреблению продукции, содержащей ингредиенты животного происхождения

Table 2

Potential Contaminants of Ready-to-Eat Products Containing Animal-Derived Ingredients

Продукция	Группа загрязнителей / Загрязнитель
Мясная продукция	
Колбасы, сосиски и сардельки	Хинолоны, тетрациклины, сульфаниламиды
Равиоли, чебуреки, лазанья мясная	
Мясо сушеное (мясные снеки), карпаччо	
Молочная продукция	
Сырки творожные, творожная масса, сырники, блинчики и вареники с творогом	Тетрациклины, сульфаниламиды
Сыры и творог (5 % и более)	
Мороженое (12–15 % жирности)	Тетрациклины, линкозамиды
Масло сливочное (жирность 72,5 % и выше)	Тетрациклины, хинолоны, амфениколы
Сгущенное молоко, сливки	Сульфаниламиды, линкозамиды, хинолоны, макролиды
Йогурт, кефир, снежок (жирность 2,5–3,2 %)	Тетрациклины, сульфаниламиды, свинец
Рыбная продукция	
Суши, роллы, салаты, готовые вторые блюда ¹	Трифенилметановые красители: малахитовый зелёный, кристаллический фиолетовый, бриллиантовый зелёный
Риет, салаты, пельмени, вторые блюда ²	Мышьёк
Кондитерские изделия	
Бисквиты и пирожные бисквитные	Хинолоны и сульфаниламиды
Продукция с добавлением меланжа (кондитерская, соусы и т.д.)	Хинолоны, сульфаниламиды, ионофоры

Примечание. ¹ Продукция, изготовленная из искусственно выращенной рыбы и морепродуктов: креветок, мидий, карпа, карася, форели радужной, осётра; ² Продукция, изготовленная из выловленной рыбы и морепродуктов: тресковых рыб (трески, наваги, пикши, путассу), камбалы и палтуса, креветок, крабов.

Note. ¹ Products made from farmed fish and seafood: shrimp, mussels, carp, crucian carp, rainbow trout, sturgeon. ² Products made from wild-caught fish and seafood: codfishes (cod, navaga, haddock, blue whiting), flounder and halibut, shrimp, crabs.

Группы загрязнителей

Загрязнители, поступающие с продовольственным сырьем

В настоящее время актуальна проблема контроля остаточных содержаний в продукции антибактериальных веществ. Антибиотики, систематически поступающие в организм человека с пищей даже в количествах меньше МДУ, способствуют усилению устойчивости микрофлоры, в т.ч. патогенной, к антибактериальным препаратам (Capita & Alonso-Calleja, 2013). К критически важными в ветеринарии группам «Всемирная организация охраны здоровья животных» (ВОЗЖ — ранее МЭБ, OIE) относит аминоциклитолы, аминогликозиды, амфениколы (флорфеникол и тиамфеникол), цефалоспорины III (цефоперазон, цефтиофур, цефтриаксон) и IV поколения (цефкином), макролиды, пенициллины, фторхинолоны, сульфаниламиды и тетрациклины¹. Законодательно регламентируемые пределы МДУ препаратов как правило установлены для сырья (мясо, печень, жир, рыба, молоко и т.д.).

Среди антибактериальных препаратов по количеству обнаружений в 2020–2021 гг. (ГИС Ветис, компонент «Веста») в продукции животноводства чаще других обнаруживали превышения МДУ хинолонов, тетрациклинов, сульфаниламидов (Балагула и соавт., 2023). Анализ обнаружений за 2020–2024 гг. показал сохранение данной тенденции: превалирует выявляемость представителей тетрациклинов, фторхинолонов, пенициллинов, амфениколов и сульфаниламидов. В продукции птицеводства и яйцах максимальное количество обнаружений установлено для фторхинолонов, в мясе и мясной продукции (кроме птицы) на первом месте также фторхинолоны, далее следуют тетрациклины и сульфаниламиды (См. Диаграмму 1).

В молоке и молочной продукции чаще всего обнаруживаются превышения МДУ тетрациклинов, пенициллинов и амфениколов, далее следуют в порядке убывания линкозамиды, хинолоны, сульфаниламиды и макролиды.

Необходимо отметить, что антибиотиками может быть загрязнена не только продукция животноводства, но также вода и растительное сырьё (Макаров и соавт., 2023).

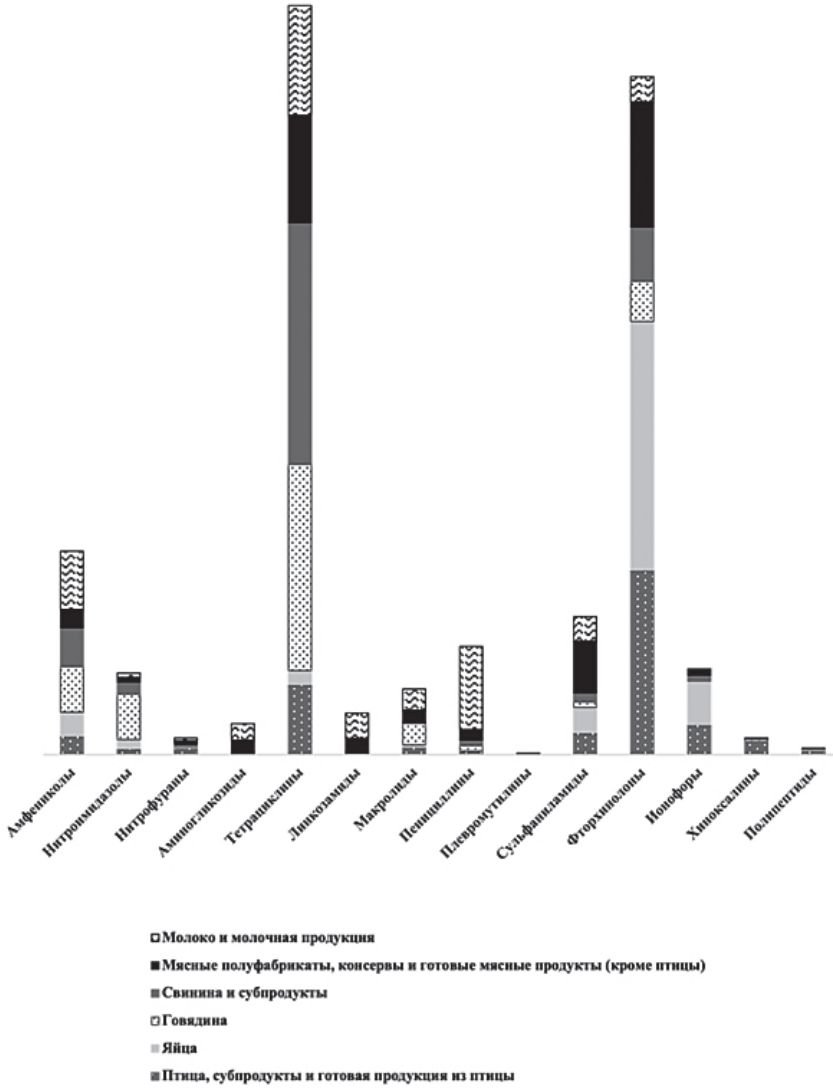
При приготовлении пищи остатки лекарств удаляются не всегда (не полностью). Анализ литературных дан-

¹ OIE list of antimicrobial agents of veterinary importance (June 2021). <https://www.woah.org/app/uploads/2021/06/a-oie-list-antimicrobials-june2021.pdf>.

О.И. Лаврухина, Д.А. Макаров, Е.С. Козеичева, Т.В. Балагула, А.В. Третьяков, М.А. Гергель, Е.А. Лозовая

Диаграмма 1
**Выявления (%)¹ антибиотиков в продукции животноводства
в 2020–2024 гг. (ГИС Ветис, компонент «Веста»)**

Chart 1
**Detections (%)¹ of Antibiotics in Livestock Products in 2020–2024
(GIS Vetis, “Vesta” Component)**



Примечание. ¹Выявления, % — обнаружение превышения МДУ содержаний антибиотиков в продукции.
Note. ¹Detections, % — instances where antibiotic residue levels in products exceed the maximum residue limit (MRL).

ных показывает, что при изготовлении вареных колбас не происходит значительного разрушения антибиотиков (Приложение 2).
Наличие остаточных количеств антибактериальных препаратов в продовольственном сырье и готовой

продукции обуславливает угрозу их попадания в продукцию, содержащую компоненты животного происхождения и не подвергающуюся длительной термической обработке. При изготовлении пирогов, пиццы, шаурмы и другой аналогичной по составу и способу

изготовления мясосодержащей продукции в принципе не происходит механического удаления контаминантов, ввиду отсутствия необходимых для этого производственно-технологических стадий.

Актуальные зарубежные исследования демонстрируют наличие в готовой продукции (яичном тофу, фрикадельках из креветок, куриных наггетсах и ветчине) кроме антибиотиков остаточных содержаний β -агонистов и кокцидиостатиков (большинство положительных проб — мясо птицы и продукты его переработки, яйца и яичные продукты) (Sin et al., 2023). Но работ относительно переноса и трансформации в готовой продукции представителей других групп лекарственных препаратов для животных (антгельминтиков, гормонов, нестероидных противовоспалительных препаратов и др.) пока крайне мало.

Пестициды и продукты их трансформации

Хлорорганические пестициды (ХОП) отличаются высокой устойчивостью к разложению, и несмотря на запрет «Стокгольмской конвенцией о стойких органических загрязнителях» (с дополнениями 2017 г.) использования ГХЦГ (α -, β -, γ -изомеры) и ДДТ (и его метаболиты) обнаруживаются в количествах выше МДУ в объектах окружающей среды. Однако проблема загрязнения пестицидами характерна и для животноводческого сырья, в результате их попадания в организм животных с кормами, либо непосредственного использования инсектицидов и дезинфицирующих средств (Jia et al., 2024). Пестициды, особенно запрещённые к применению ХОП и некоторые их метаболиты (ДДТ и ДДЕ, ДДД; ГХЦГ и моно-, ди-, три-, тетрахлорфенолы), благодаря своей липофильности способны накапливаться в молоке, яйцах и других продуктах с высоким содержанием жиров (Киш и соавт., 2022; Jia et al., 2024; Jooste et al., 2014).

Современные поколения пестицидов характеризуются меньшей стойкостью с окружающей среде, в том числе последние поколения фосфорорганических пестицидов (ФОП), карбаматы, неоникотиноиды и пиретроиды (Gallardo-Ramos et al., 2024) (Приложение 3). Однако, некоторые их представители согласно данным Pesticide Action Network входят в список особо опасных, а именно диазинон, хлорпирифос, диметоат, имидаклоприд, малатион, спиносад¹. Они быстро разлагаются,

но при этом стойкими и токсичными могут быть продукты их трансформации. Примерами в данном случае являются некоторые галогенсодержащие пиретроиды: при их разложении вследствие молекулярной рекомбинации с углеводородами высвобожденных галогенов возможно образование диоксинов и фуранов (Albaseer, 2019). Метаболиты фенилпиразола фипронила — фипронил сульфон и фипронил десульфенил, демонстрируют более высокую токсичность в экспериментах *in vitro* (Jia et al., 2024)). В случае ФОП токсичны продукты трансформации хлорпирифоса (3,5,6-трихлоро-2-пиридинол), диметоата (ометоат) и малатиона (малаоксон и изо-малатион) (Киш и соавт., 2022).

Нормативные значения МДУ пестицидов, как и других загрязнителей, применяются в большей мере для контроля сырья. В случае переработанной продукции и готовых блюд может оказаться значимым коэффициент переработки (Albaseer, 2019). Например, с учётом технологических коэффициентов в работе (Constantinou et al., 2021) установлено превышение МДУ пестицидов (от 2 до 24 соединений из 55 аналитов) во всех образцах изюма, кроме полученных из винограда, выращенного в условиях органического земледелия. Потеря воды в процессе приготовления приводит к уменьшению массы пищевых продуктов в пересчёте на сырой вес. Это касается не только растительного, но и животного сырья. Однако в случае переработки сырья с дальнейшим внесением других ингредиентов в процессе приготовления возможно напротив снижение содержания пестицидов в пересчёте на вес готового продукта в результате разбавления.

Термическая обработка продукции животноводства (мяса, молока, яиц) недостаточно эффективна для удаления стабильных пестицидов из растительной продукции. Варка не влияет на содержание ХОП в овощах и фруктах, так как они обладают липофильными свойствами и концентрируются в восках на поверхности кожицы. Для удаления из мяса ХОП и ФОП (ГХЦГ, ДДТ, эндосульфана, диметоата и малатиона) эффективнее проварка, чем запекание, что свидетельствует о большем влиянии процесса испарения летучих пестицидов (Djordjevic & Djurovic-Pejcev, 2016). Синтетические пиретроиды также термически стабильны (до 300 °C для некоторых представителей) (Albaseer, 2019). При этом

¹ List of highly hazardous pesticides. (2024, December). Pesticide Action Network International. https://pan-international.org/wp-content/uploads/PAN_HHP_List.pdf

для удаления из абрикосов, изюма, чернослива более 50 % от исходного содержания диметоата и ипродиона достаточно сушки на солнце или в духовом шкафу.

Снижение содержания пестицидов в процессе переработки, в зависимости от особенностей их строения и физико-химических свойств, возможно не только термической деструкцией, но также промывкой, гидролизом, окислением либо восстановлением, фотолизом, испарением, ферментацией (Djordjevic & Djurovic-Pejcev, 2016). Основными путями деградации пиретроидов перметрина, цифлутрина, циперметрина и дельтаметрина в винограде и апельсиновом соке являются гидролиз и окисление (Albaseer, 2019). Значительного снижения концентрации некоторых пиретроидов, в частности бифентрина в пшенице, можно добиться молочнокислой ферментацией (дрожжевая ферментация и стерилизация демонстрируют низкую эффективность). Ферментация с использованием *Saccharomyces cerevisiae* (пекарских дрожжей) приводит к полному разложению дельтаметрина, перметрина и фенвалерата (Albaseer, 2019). Для удаления пиретроидов высокоэффективна также фотодегградация (применима в основном для исходного сырья). Термической обработкой и ферментацией возможно значительно (до ~97 %) снизить содержание фосфорорганических пестицидов в йогурте (Rana et al., 2019).

Пестициды, обладающие ограниченной подвижностью и проникающей способностью, можно эффективно удалить с помощью промывки. Её эффективность зависит от их растворимости в воде и других растворителях (растворах уксусной кислоты, хлорида натрия, карбоната натрия и т.д.) и условий промывки (температуры воды, pH, времени, проточная вода или нет). Промывкой проточной водопроводной водой можно полностью удалить из шпината манкоцеб, манеб, пропинеб и азоксистробин, 78 и 86–89 % дитионана и хлорантраципилола в баклажанах, 63 % хлорпирифоса в огурцах (в течение 20 мин) (Djordjevic & Djurovic-Pejcev, 2016). Однако снизить содержание хлорпирифоса в спарже удалось лишь на 24 %, линдана, альдрин и эпоксида гептахлора — на 10–12 %, а хлорпирифоса, ДДТ, циперметрина и хлорталонила в капусте — на 15–19 %. Кислотные растворы эффективны для удаления ХОП из картофеля, нейтральные и щелочные — для удаления ФОП.

Аллергены

Пищевая аллергия является специфической проблемой в сфере обеспечения пищевой безопасности. Реакция на пищевые аллергены у 2–3 % взрослого населения и 8 % детей варьируется от легких симптомов до крайне тяжелых форм (анафилактический шок) (Planque et al., 2016). В контроле продуктов питания с соответствующей маркировкой необходимы максимально чувствительные и специфичные методы, т.к. принципиально отсутствие даже следовых количеств аллергенов.

Наиболее характерные загрязнители белковой природы, вызывающих аллергические реакции, это глютен и аллергены соевых бобов, арахиса, пшеницы, орехов, молока, яиц, ракообразных и моллюсков, рыбы, ракообразных, сельдерея, горчицы, кунжута (FAO/WHO, 2013; Vidaček, 2013). Основные аллергены рыбы — парвальбумины, их более тридцати; в ракообразных и моллюсках преимущественно тропомиозины (FAO/WHO, 2013), реже аргининкиназа, киназа легких цепей миозина и саркоплазматический кальций-связывающий белок. В аллергической форме проявляется пищевое отравление рыбой, содержащей гистамин, который образуется при её неправильном хранении (Vidaček, 2013).

Пищевые добавки небелковой природы также могут вызывать аллергические реакции, например используемые против образования чёрного налёта на креветках сульфиты (Vidaček, 2013). Воздействие микро- и нанопластика на иммунную систему может потенциально приводить к снижению или повышению её активности, и как следствие к аллергическим реакциям (CONTAM, 2016a).

Основные аллергены должны быть указаны на этикетке, даже будучи второстепенными ингредиентами. Для обработки и снижения аллергического потенциала сои существует множество традиционных методов: термическая обработка, ферментация, ферментативный катализ, экструзия при высоком содержании влаги, гликозилирование, действие высокого гидростатического давления, ультразвука, импульсного ультрафиолетового излучения, холодной плазмы, взаимодействия с полифенолами (Z. Huang et al., 2023). Сочетание термической обработки, давления и ферментативного гидролиза под воздействием ультразвука перспективно для снижения аллергенных свойств арахиса вплоть до их полного устранения (Cuadrado et al., 2023). Для уменьшения аллергенности креветок чаще всего применяется ультразвук (Dong & Raghavan, 2022).

Биотоксины

Морепродукты являются потенциальным источником биотоксинов. К группе морских токсинов относятся сакситоксин и его аналоги (паралитический яд моллюсков), домоевая кислота (амнестический яд), окадаевая кислота (диаретический яд), динофизистоксины, пектенотоксины, азаспирациды, йессотоксины, бреветоксины, палитоксины, сигуатоксины, тетродотоксины (яды рыб семейства иглобрюхих) и другие нейротоксины (Abraham & Rambla-Alegre, 2017; Vidaček, 2013). В основном, кроме непосредственного синтеза ядов при формировании механизмов защиты в организме рыб, морские биотоксины вырабатываются водорослями или фитопланктоном (Vidaček, 2013). Они способны накапливаться в пищеварительных железах моллюсков. Кроме того, их попадание в водоемы приводит к накоплению фикотоксинов в рыбе (Morua et al., 2020). Наибольшее количество отравлений среди морских биотоксинов отмечается для паралитических ядов моллюсков, а именно сакситоксином и его аналогами (Leal & Cristiano, 2022).

Сигуатоксины являются метаболитами гамбиертоксинов (вырабатываемых донными водорослями *Gambierdiscus* и *Fukuyoa*) в организме рыб, обитающих в водах тропических районов центральной части Тихого океана, западной части Индийского океана и Карибского моря (Soliño & Costa, 2018). Они липофильны, накапливаются во всех тканях, особенно в икре и печени, с биомагнификацией на более высоких трофических уровнях (Soliño & Costa, 2018; Vidaček, 2013). Липофильными свойствами обладают также окадаевая кислота, динофизистоксины, пектенотоксины, азаспирациды, бреветоксины и йессотоксины (Abraham & Rambla-Alegre, 2017).

Донные водоросли и некоторые цианобактерии продуцируют гамбиертоксины из которых синтезируются полиэфирные токсины майтотоксин, гамбиерол и его производные гамбиероксид, гамбиерон и гамбиериновые кислоты (Soliño & Costa, 2018). Майтотоксин водорастворим, поэтому не должен накапливаться в организме рыб, однако есть упоминания об его переносе на более высокие трофические уровни (Kohli et al., 2014). Гидрофильными свойствами обладают и паралитические яды, в том числе сакситоксин (Abraham & Rambla-Alegre, 2017). Благодаря развитию аналитических методов в последние годы были обнаружены новые аналоги сакситоксина, однако о токсикокинетике большинства из них пока практически ничего не известно (Leal & Cristiano, 2022).

Большинство морских токсинов устойчивы к нагреванию и не инактивируются при приготовлении пищи (Özogul & Hamed, 2018; Vidaček, 2013). Возможность образования гистамина можно исключить, обеспечив свежесть сырья и правильные температурные условия хранения (при высокой температуре рост продуцирующих гистамин бактерий происходит быстрее) (Vidaček, 2013).

Некоторые из наиболее токсичных биологически активных соединений содержатся также в растениях и грибах — это фитотоксины и алкалоиды. Растения синтезируют пирролизидиновые и тропановые алкалоиды, являющиеся частой причиной отравления животных и людей, например 1,2-дегидропирролизидиновые (Stegelmeier et al., 2016). Потенциально токсичны и растения, содержащие цианогенные гликозиды (горький миндаль, косточки абрикоса, вишни, сливы и т.д. — при гидролизе может выделяться HCN) (Eumar et al., 2016). Кроме цианогенных гликозидов растительных ядов огромное разнообразие (сапонины, глюкозинолаты, фитогемагглютинины, рицин, нейротоксичные аминокислоты), но в рамках данной работы наибольший интерес с точки зрения обеспечения безопасности пищевой продукции подкласса алкалоидов: тропановые и пирролизидиновые.

Алкалоиды спорыньи продуцируются грибами *Claviceps purpurea* и представляют собой смесь токсичных родственных по структуре соединений (Haque et al., 2020). В большинстве случаев контаминация алкалоидами зерновых культур является проблемой животноводства. Корма могут содержать эрготамин, эргометрин, эргокristин, эргокриптин, эргокорнин и эргозин (Grusie et al., 2018). Для оценки уровней контаминации сырья и готовой продукции алкалоидами и продуктами их трансформации необходимо внедрение в рутинную практику современных подходов и методов, а также проведение с их использованием целевых исследований в рамках мониторинга безопасности пищевой продукции.

Загрязнение на этапе производства (изготовления) и хранения

В процессе жарки, выпечки, запекания в духовке, приготовлении на гриле, варки, консервирования, гидролиза или ферментации могут образовываться токсичные соединения, такие как акриламид, нитрозамины, гетероциклические амины, хлорпропанола, фураны, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)

и этилкарбамат (Edna Hee et al., 2024; Nerín et al., 2016; Stadler & Theurillat, 2017). Благодаря уникальным антипригарным свойствам, термостойкости и относительно низкой стоимости в качестве покрытия для кухонной посуды используется политетрафторэтилен (Smith & Kim, 2017). При этом перфторалкильные соединения могут проникать в пищевые продукты в процессе приготовления.

Готовая к употреблению продукция смешанного состава («Ready-to-Eat»), подвергавшаяся обработке, кроме загрязнителей из сырья может содержать пищевые добавки опасные для здоровья и производственные загрязнители: моноклорпропандиол (МХПД) и глицидол, акриламид, нитрозамины, ПАУ; загрязнители образующиеся при нарушении условий хранения: микотоксины и биогенные амины; и из упаковочных материалов: перфторированные и полифторированные соединения, БФА, фталаты, микропластик и нанопластик, металлы и металлоорганические соединения (Nerín et al., 2016; Poissant et al., 2023; Vitali et al., 2023).

Пищевые добавки

Применение добавок в производстве экономически целесообразно, а кроме того, позволяет во многих случаях избежать пищевых отравлений и токсикоинфекций как человека, так и животных. В одном из наиболее полных обзоров о токсичности пищевых добавок (Kumar et al., 2019) выделено 16 их функциональных классов и представлена информация об их токсических эффектах. Перечень запрещённых к применению в РФ и ЕАЭС пищевых добавок обширен, а с 27 февраля 2024 г. вступил в силу запрет ещё 19 соединений¹ и перечень разрешённых ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» сократился до 349 позиций.

В рамках данной работы интерес представляют разрешённые добавки, потенциально вносящие наибольший суммарный вклад в контаминацию готовой продукции смешанного состава при одновременном загрязнении сырья и различных ингредиентов. В первую очередь речь идёт о металлах в различных формах. Оксиды и гидроксиды железа (E172), диоксид титана (E171), серебро (E174) используются в качестве красителей. Металлы не разлагаются в процессе приготовления, не подвержены биodeградации и способны накапли-

ваться и в растительном, и в животноводческом сырье и продукции.

Вторая группа по значимости в данном случае — анионы. Фосфаты являются неотъемлемой частью рациона человека: органические формы фосфатов содержатся в мясе, зерновых, молочных продуктах и орехах, и неорганические фосфаты — в пищевых добавках (Dykes et al., 2019). Чрезмерное потребление фосфатов приводит к вредным последствиям для живых организмов. Фосфаты (E339) применяются в качестве консервантов для мяса, стабилизаторов и солей при плавлении сырных продуктов, эмульгаторов в мясных полуфабрикатах и сыре, а кроме того, диспергатора белка при производстве сухих молочных продуктов. При переработке рыбной продукции для уменьшения потери естественной влаги также используют фосфаты (Vidaček, 2013). Как правило это креветки, замороженное рыбное филе или сурими. Фосфаты легко всасываются в тонком кишечнике и накапливаются в клетках и костях (Dykes et al., 2019).

Анионы могут образовывать в процессе приготовления пищи токсичные соединения. При взаимодействии в кислой среде аминов с нитрит-ионами образуются нитрозамины. Нитриты (E249 и E250) и нитраты (E252 и E251) калия и натрия являются основными ингредиентами при консервировании вяленых мясных продуктов и одновременно выполняют роль красителей (El-Saber Batiha et al., 2021). Нитриты используются и в качестве консерванта и закрепителя цвета для рыбы (Vidaček, 2013). Нитрит калия подавляет рост *Clostridium botulinum*, часто применяется для вяленой рыбы и в процессе копчения. Установлена взаимосвязь между использованием нитритов и нитратной селитры и безопасностью мяса и мясной продукции (Y. Zhang et al., 2023).

Использование в пищевой промышленности для предотвращения порчи и снижения микробиологической контаминации в качестве добавок природных биологически активных компонентов, а именно экстрактов трав и специй, эфирных масел, бактерий и ферментов, позволит избежать использования синтетических добавок и консервантов и снизить риск контаминации готовой продукции пестицидами и антибиотиками (El-Saber Batiha et al., 2021). Природные антиоксиданты:

¹ Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 29 августа 2023 г. № 84. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1302614036>.

каротиноиды, токоферол (витамин Е), некоторые фенольные соединения и аскорбиновая кислота. В работе (Y. Zhang et al., 2023) отмечается невозможность в настоящее время заменить нитриты и нитраты при производстве мясной продукции, поэтому существует необходимость поиска альтернативных добавок, либо других эффективных методов замены нитритов при переработке мяса.

Сахар способен стимулировать рост культур пробиотических бактерий, например *Lactobacillus* spp. и подавлять рост некоторых патогенных микроорганизмов *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus* spp. и *Enterobacteria* spp., однако с точки зрения здорового питания, это не самый подходящий вариант предотвращения контаминации (El-Saber Batiha et al., 2021). В таком случае могут быть перспективны препараты животного происхождения, а именно хитозан, лизоцим, лактопероксидаза и лактоферрин, а также биологически активные соединения некоторых съедобных грибов.

МХПД и глицидол

3-МХПД, 2-МХПД и глицидиловые эфиры жирных кислот — распространенные загрязнители жиросодержащей пищевой продукции, образующиеся в процессе переработки пищевых продуктов, в частности, при рафинировании и дезодорировании растительных масел при высоких температурах (~200°C). В продуктах с невысоким содержанием жира, которые в процессе производства подвергаются высокотемпературной обработке или, например, кислотному гидролизу (жидкие приправы, хлебобулочные изделия, кислотные гидролизаты растительных белков и др.), они чаще присутствуют в свободном виде (Crews et al., 2013). В рафинированных пищевых маслах и пищевых продуктах, изготовленных с их использованием, МХПД присутствуют главным образом в виде этерифицированных (связанных с жирными кислотами) форм: симметричных и ассиметричных ди- и моноэфиров (Leigh & MacMahon, 2017). Глицидол — это трёхатомное органическое соединение с эпоксидной и спиртовой функциональными группами (CONTAM, 2016b). В рафинированных маслах и содержащих их продуктах он существует в виде моноэфиров жирных кислот. Неочищенные (нерафинированные) масла в норме не содержат глицидол и МХПД, но содержат соединения, являющиеся их предшественниками (Pudel et al., 2011).

Из липидных компонентов предшественниками монолорпропандиолов могут быть по разным данным три-, ди- и моноглицериды (ТАГ, ДАГ и МАГ), а также свободный глицерин (CONTAM, 2016b; FAO/WHO, 2013). При этом ДАГ и МАГ могут иметь как природное, так и технологическое происхождение в условиях высокотемпературной очистки (CONTAM, 2016b). Глицидиловые эфиры, как правило, образуются из диацилглицеринов и этот процесс протекает в прямой зависимости от продолжительности воздействия высоких температур.

В работе (Goh et al., 2021) показано, что на образование 3-МХПД и глицидиловых эфиров жирных кислот в процессе жарки и выпечки продуктов с растительным маслом, влияют температура, способ и продолжительность обработки, масло и другие компоненты продукта, влажность, содержание хлора, содержание антиоксидантов в жировой фракции продукта при выпечке. Для глицидиловых эфиров рафинированное масло — единственный обнаруженный источник их попадания в пищу (CONTAM, 2016b). Свободный 3-МХПД образуется и в других технологических процессах жарки, выпечки и копчения, гидролиза белка с добавлением соляной кислоты при высокой температуре. В наибольшей концентрации загрязнители выявляют в пальмовом масле, богатом предшественниками глицидиловых эфиров — диацилглицеридами.

3-МХПД нейρο- и эмбриотоксичен, глицидол также проявляет нейротоксичность, но кроме того обладает выраженной канцерогенной активностью. В странах Евросоюза мониторинг продуктов питания на наличие глицидиловых эфиров жирных кислот, 2,3-МХПД и их эфиров проводится в рамках выполнения Commission Recommendation 2014/661/EU. Исследуется продукция, содержащая растительные масла, хлебобулочные изделия, консервированные мясо и рыба, детское питание и т.д.

В работе (CONTAM, 2016b) было показано, что наибольший вклад в воздействие 3-МХПД и глицидола на население Европы вносят кондитерские изделия и маргарин. Значителен и вклад картофеля фри, чипсов и жареного мяса (последнее только в отношении 3-МХПД). Эти исследования стали основой при разработке нормативов предельного содержания этих веществ в отдельных видах пищевой продукции (Commission Regulation (EU) 2020/1322), внесенных в Commission Regulation (EU) 1881/2006, устанавливающий максимальные уровни контаминантов в пищевых продуктах. Решение ЕЭК

06.08.2019 № 132 с допустимыми уровнями содержания 3-МХПД и глицидола в продукции на территории Российской Федерации пока не вступило в силу.

Для снижения содержания в пищевых продуктах глицидиловых эфиров и эфиров 3-МХПД согласно рекомендациям Продовольственной федерации Германии (*пред.* German Federation for Food Law and Food Science, BLL) необходимы выбор подходящего сырья для производства масел (наиболее высокое содержание — в рафинированном пальмовом масле, наименьшее — в рапсовом (CONTAM, 2016b) или снижение предшественников загрязнителей перед обработкой; изменение условий и внедрение дополнительных этапов рафинирования масла; снижение количества эфиров в рафинированном масле путем использования подходящих адсорбентов. Международная Комиссия Кодекс Алиментариус в 2019 г. опубликовала свод указаний СХС 79–2019 по минимизации загрязнения жиров и изготовленной из них продукции с аналогичными общими принципами.

Акриламид

По данным Европейского агентства по безопасности пищевых продуктов (European Food Safety Authority, EFSA) картофельные, хлебные и кукурузные чипсы, картофель фри, крекеры, тосты, печенье, хлопья для завтрака, хлеб и хлебобулочные изделия, кофе и какао являются основными источниками появления акриламида в рационе (Fan et al., 2023). В его образовании при высокотемпературной обработке (выше 120 °C) участвуют редуцирующие сахара и аминокислоты: в картофеле глюкоза и фруктоза, а в зерновых продуктах свободный аспарагин (Passos et al., 2018). Акриламид обнаружен также в термически обработанных блюдах с оливками (запечённых) и лекарственных средствах растительного происхождения (сырьё подвергалось нагреванию в процессе сушки) (Duedahl-Olesen et al., 2022). На процесс его образования кроме температуры влияют время приготовления, pH, тип масел/жиров и активность воды (A_w , отношение давления паров воды над продуктом к давлению паров над чистой водой при той же температуре) (Edna Hee et al., 2024). Авторами работы (Duedahl-Olesen et al., 2022) подтверждены полученные ранее другими исследователями данные об увеличе-

нии содержания акриламида при запекании оливок и значительном его снижении при дальнейшей, более длительной термической обработке, но отмечается, что при этом они становятся качественно неприемлемыми для употребления. Содержание акриламида в приготовленных продуктах, богатых углеводами, в 30–80 раз выше, чем в приготовленных продуктах, богатых белками (Edna Hee et al., 2024).

Акриламид водорастворим, интенсивно всасывается из ЖКТ и метаболизируется до глицидамида (2,3-эпоксипропанамид), демонстрирующего генотоксичность в тестах *in vitro* (Edna Hee et al., 2024; Stadler & Theurillat, 2017). Согласно оценке МАИР безопасный уровень его потребления составляет 1 мкг на 1 кг массы тела в сутки. В России в настоящее время отсутствуют официальные методики контроля содержания акриламида в пищевой продукции, ТР ТС он не нормируется и допустимый уровень его суточного потребления пока не установлен (Чернова & Петроченкова, 2023).

Стратегии снижения содержания акриламида в пищевых продуктах предполагают: 1) прерывание реакции его образования варьированием уровня pH и влажности, внесением антиоксидантов или добавок для интенсификации конкурирующих реакций сахаров и аминокислот (органических кислот, Na^+ или Ca^{2+} , белков и аминокислот отличных от аспарагина); 2) снижение исходного содержания редуцирующих сахаров и аспарагина промыванием, бланшированием и ферментацией, либо использованием сельскохозяйственных культур с их заведомо меньшим содержанием; 3) снижение температуры и времени приготовления (Adebo et al., 2017; Edna Hee et al., 2024; Stadler & Theurillat, 2017). Отдельными исследователями показана необходимость дальнейшего изучения влияния более высоких температур и меньшего времени запекания на содержание акриламида в готовых блюдах (Duedahl-Olesen et al., 2022). Общие рекомендуемые меры по снижению уровня воздействия акриламида представлены Европейской ассоциацией производителей пищевых продуктов (Food Drink Europe, FDE)¹, а для отдельных видов продукции в свободном доступе на сайтах специализированных профильных ассоциаций² (Stadler & Theurillat, 2017).

¹ FDE Acrylamide Toolbox. URL: https://toiduteave.ee/wp-content/uploads/2018/09/FDE-AcrylamideToolbox_2013.pdf (дата обращения 20.05.2024).

² GoodFries.eu // European Potato Processors' Association. URL: <https://goodfries.eu/en/> (дата обращения 20.05.2024).

Полициклические ароматические углеводороды

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) представляют собой сложные смеси включая нитро- и гидрокси- и гетероциклические производные, 16 из которых (нафталин, аценафтилен, аценафтен, флуорен, антрацен, фенантрен, фторантен, пирен, хризен, бенз[а]антрацен, бенз[б]фторантен, бенз[к]фторантен, бенз[а]пирен, инден[1,2,3-сd]пирен, бенз[g,h,i]перилен и дибенз[а,h]антрацен) отнесены Агентством по охране окружающей среды США к приоритетным загрязнителям (M. Huang & Penning, 2014). Канцерогенные ПАУ образуются в результате копчения и жарки мяса, в том числе на гриле, а также в процессе обжарки кофейного зерна (Darwish et al., 2019; Edna Hee et al., 2024; Nerín et al., 2016; Vidaček, 2013). Кроме того, они содержатся в выхлопных газах и табачном дыме, выбросах предприятий по газификации угля, производству алюминия и мусоросжигательных заводов (M. Huang & Penning, 2014). Основным представителем ПАУ — бенз[а]пирен, согласно оценке МАИР канцероген группы 1, используется в качестве индикатора воздействия ПАУ. Бенз[к]фторантен, бенз[б]фторантен, бенз[а]антрацен, нафталин и хризен — канцерогены группы 2В (возможный канцероген для человека) (Edna Hee et al., 2024). На процесс их образования и содержание в готовом продукте влияют способ приготовления, температура, расстояние до пламени при приготовлении на открытом огне, время, тип нарезки мяса, содержание жиров (животных и растительных) (Darwish et al., 2019; Edna Hee et al., 2024; M. Huang & Penning, 2014). Исследования показали, что свинина содержит наибольшее количество ПАУ, затем следуют говядина и баранина, рыба, куриное мясо (Edna Hee et al., 2024). Самые низкие содержания ПАУ обнаружены в молоке и овощах.

Высокие концентрации ПАУ характерны для пищи, приготовленной на гриле и углях, вследствие пиролиза органических веществ. Для приготовленного на гриле мяса обнаружено содержание бенз[а]пирена в 2,7 раз большее чем на сковороде-гриль (Darwish et al., 2019). В исследовательских работах отмечается нежелательность длительного хранения приготовленной на гриле пищи, так как в этом случае содержание ПАУ увеличивается (возможно в результате образования продуктов

окисления жиров) (Edna Hee et al., 2024). При этом ввиду общего загрязнения окружающей среды ПАУ они могут присутствовать и в сыром мясе, растениях, морепродуктах и рыбе (Darwish et al., 2019; M. Huang & Penning, 2014). В том числе вследствие использования загрязненных упаковочных материалов из переработанного пластика или мешках из джута (масло для размягчения ткани может также содержать ПАУ).

При умеренных условиях обжарки кофейных зёрен преимущественно обнаружены низкомолекулярные ПАУ, но при более высоких температурах образуются более токсичные представители данной группы загрязнителей (Edna Hee et al., 2024). Удаление кофеина способствует снижению количеств образующихся при обжарке ПАУ, хотя этот аспект пока остаётся малоизученным.

Согласно обзору (L. Singh et al., 2016) ПАУ обнаружены также в молочной продукции (больше всего в сыре — 1643,18 мкг/кг), переработанных фруктах, овощах, и зерновой продукции (до 335,7 и 880 мкг/кг), морепродуктах (максимальные содержания в морских крабах — до 2618,4 мкг/кг), растительных маслах и кондитерских изделиях (на уровне 230 мкг/кг), в некоторых лекарственных препаратах и травах (в Матэ до 9001 мкг/кг), кофе (в кофе Суматра тёмной обжарки — 3091,1 мкг/кг) и в минимальных количествах в детском питании, орехах, соли и сахаре (не более 7 мкг/кг).

В настоящее время существует необходимость разработки нормативных стандартов содержания ПАУ для различных продуктов или групп продуктов, в соответствии со способами их приготовления. На территории РФ и ЕАЭС из всех ПАУ в пищевой продукции ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» нормируется содержание бенз[а]пирена (мг/кг): в детском питании, продуктах для беременных и кормящих женщин он не допускается (<0,2 мкг/кг); не более 0,005 — в копчёной рыбной продукции; 0,001 — в молоке и молочной продукции, а также копченых мясных, мясосодержащих и птичьих продуктах¹.

Фильтрация дыма и более «мягкие» условия копчения могут снизить загрязнение продуктов ПАУ (Vidaček, 2013). Возможно также в качестве альтернативы использование жидких ароматизаторов («жидкий дым») (Edna Hee et al., 2024). Для приготовления на гриле ре-

¹ Технический регламент Таможенного Союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (с изменениями на 22 апреля 2024 г.) URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560?ysclid=m4v2y49z96446426971> (дата обращения 19.12.2024).

комендуется выбирать мясо и рыбу с меньшим содержанием жира и готовить при более низкой температуре в течение более длительного времени. Природные и синтетические антиоксиданты ингибируют образование ПАУ в процессе приготовления пищевых продуктов. Использование маринадов, содержащих природные антиоксиданты (активные компоненты розмарина, чая, бамбука), позволяет существенно сократить содержание ПАУ в продуктах при обжарке на соевом и пальмовом масле (L. Singh et al., 2023). Общими рекомендациями также является избегание прямого контакта продуктов с пламенем и повторного использования масла при приготовлении блюд во фритюре.

Микотоксины

Микотоксины представляют собой вторичные метаболиты микроскопических грибов в основном родов *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Claviceps* и *Alternaria* (Haque et al., 2020). Загрязнение готовой продукции микотоксинами возможно на стадии получения сырья при отсутствии надлежащего входного контроля. Однако в большинстве случаев их появление в продуктах питания обусловлено нарушением условий хранения и транспортировки.

Наиболее опасными и преобладающими по обнаружению в пищевой продукции и продовольственном сырье являются афлатоксины, а именно афлатоксин В1 (АВ1), охратоксин А (ОТА), зеараленон (ЗОН), цитринин, патулин, фумонизины (FB1) и трихотеценовые микотоксины ниваленол/дезоксиниваленол (ДОН), Т-2, НТ-2 (Gallardo-Ramos et al., 2024; Haque et al., 2020; Iqbal et al., 2014; Stadler, 2019).

Значительная проблема связана с загрязнением зерновых продуктов продуктами трансформации микотоксинов (Li et al., 2024). Они не могут быть обнаружены с помощью стандартных аналитических процедур, поэтому оценка их токсикологических и токсикокинетических параметров, а также оценка риска контаминации продукции остается сложной задачей.

Кроме того, для вяленых мясных продуктов кроме специально колонизируемых видов плесени родов *Penicillium* и *Aspergillus* идентифицированы нежелательные их представители *Penicillium nordicum*, *Penicillium verrucosum*, *Aspergillus westerdijkiae* и *Aspergillus ochraceus*, в результате чего может происходить загрязнение вяленого мяса ОТА и афлатоксинами (Perrone et al., 2019).

Патулин появляется на поверхности фруктов, овощей, костяноквых и других плодов (яблоки, груши, вишня, виноград, инжир и др.), а затем поражает плоды целиком (Haque et al., 2020; Mahato et al., 2021). Контаминация отмечена не только после сбора урожая, но и для перезрелых фруктов до сбора.

С точки зрения риска контаминации микотоксинами продукции животноводства с кормами наиболее важны при обеспечении безопасности продуктов питания грибы *Aspergillus Flavus*, *Aspergillus Parasiticus* и *Aspergillus Nomius* (Jooste et al., 2014). Они продуцируют афлатоксин В1 и родственные ему токсины. Афлатоксины, фумонизины, охратоксин А, трихотецены и зеараленон являются наиболее распространенными микотоксинами в кормах для животных (Tolosa et al., 2021). Особую озабоченность в связи с АВ1 вызывает его попадание в молоко и молочную продукцию в виде метаболита — афлатоксина М1, обладающего потенциально канцерогенными свойствами (Jooste et al., 2014; Mühlemann, 2014; Smith & Kim, 2017).

Анализ готовых к употреблению продуктов на основе злаковых, бобовых, овощей, рыбы и мяса показал контаминацию 35 % зерновых блюд, 32 % овощных, 15 % бобовых и 9 % рыбных и мясных (Carballo et al., 2018). Максимальное количество обнаружений установлено для ДОН в овощах, мясе, рыбе и злаках (в рыбе и овощах самые высокие содержания); НТ-2 — в бобовых. В образцах мяса обнаружены самые высокие уровни ОТА. Афлатоксин В1 обнаружен в ферментированных соевых продуктах в количествах, превышающих допустимый уровень 5 мкг/кг, установленный в Китае (J. Zhang et al., 2024).

Немногие микотоксины подвергаются разложению при термообработке, поэтому единственным способом снижения их содержания в готовой продукции является недопущение использования контаминированного сырья, а в случае продукции животноводства — кормов для животных (Jooste et al., 2014; Mahato et al., 2021). Крайне важна правильная сушка сырья и соблюдение норм температуры и влажности при хранении. Химические методы деконтаминации основаны на применении кислот, щелочей и консервантов; физические — на использовании УФ-облучения, метода «холодной плазмы» и озонирования (Thanushree et al., 2019). В работе (T. Li et al., 2024) предложены стратегии обеззараживания путем подщелачивания, гидролиза, термической или химической трансформации, а также ферментативной или химической деструкции.

Биологические подходы к удалению микотоксинов включают применение микроорганизмов (бактерий, грибов, дрожжей), специфических ферментов (оксидаза, пероксидаза, лакказы, редуктазы, эстеразы, карбоксилэстеразы, аминотрансферазы, лактоногидролазы), адсорбентов, неорганических: гидратированные алюмосиликаты натрия и кальция, цеолиты, бентониты, активированный уголь, каолин и органических: волокна люцерны, овса, экстрагированные фракции клеточных стенок дрожжей, а также растительных продуктов (специи, растительные экстракты, ароматические масла) (Haque et al., 2020). В настоящее время развиваются и внедряются нанобиотехнологии, использование микробных клонов и рекомбинантных специфичных к грибам антител и генетические технологии (выращивание трансгенных, устойчивых к грибам культур).

Пилотное исследование выявило снижение уровня эниатина В и а-охратоксина и повышение уровня β-зеараленола в моче после кратковременной замены продуктов в рационе на органические (Gallardo-Ramos et al., 2024). Показано, что такой подход может снизить риски, связанные с контаминацией одновременно микотоксинами и пестицидами. Однако для достоверной оценки синергетических взаимодействий различных загрязнителей необходимы более продолжительные исследования их токсикокинетики.

Биогенные амины

Еще одной группой потенциальных контаминантов пищевой продукции при несоблюдении условий хранения и производстве ферментированных продуктов (кисломолочных, мясных, соевых, овощных, и т.д.) являются биогенные амины — низкомолекулярные продукты декарбоксилирования аминокислот, образующиеся в процессе микробиологической ферментации (Saha Turna et al., 2024).

Биогенные амины могут образовываться в процессе порчи рыбы и морепродуктов (Ding & Li, 2024). Повышение температуры при хранении способствует быстрому размножению бактерий, что приводит к ускорению выработки биогенных аминов. Они не разрушаются при термической обработке продуктов (Saha Turna et al., 2024). Кроме того, биогенные амины являются предшественниками канцерогенных N-нитрозосоединений (Fong et al., 2021).

Некоторые ферментированные пищевые продукты могут содержать биогенные амины гистамин, тирамин и/

или фенилэтиламин: *Lactobacillus* spp. в основном участвуют в выработке гистамина, тирамина и путресцина, а *Enterobacteriaceae* и *Enterococcus* spp. — способствуют выработке путресцина, кадаверина и тирамина (Saha Turna et al., 2024).

Сыры с очень длительным сроком созревания могут содержать высокие концентрации главным образом тирамина и гистамина (Mühlemann, 2014). Они образуются в процессе созревания при протеолизе в результате декарбоксилазной активности микроорганизмов нативной флоры молока, либо заквасок.

Гистамин также синтезируется в организме рыб, способными продуцировать фермент гистидиндекарбоксилазу (FAO/WHO, 2013). Этот фермент катализирует превращение свободного гистидина, содержащегося в больших концентрациях в мышечной ткани рыб, в гистамин. Чаще всего продуцируют гистамин бактерии *Morganella morganii*, *Morganella psychrotolerans*, *Photobacterium damsela*, *Photobacterium phosphoreum*, *Raoultella planticola* и *Hafnia alvei*, а в случае ферментированных морепродуктов — *Staphylococcus* spp. и *Tetragenococcus* spp. Наименьшие количества гистамина содержатся в некоторых видах морской рыбы. Он образуется из свободного гистидина (в тканях тунца, макрели, махи-махи, сардин, анчоусов обнаружены более высокие его концентрации) под действием бактериальной гистаминдекарбоксилазы при нарушении температурного режима (Vidaček, 2013). В рыбе может содержаться от 320 (сайра) до 4900 (желтоперый тунец) мг/кг гистамина (FAO/WHO, 2013). Отравления гистамином при потреблении рыбы семейства скумбриевых наиболее частые (Özogul & Nemed, 2018). Для здорового человека максимальный уровень потребления гистамина составляет 200 мг/кг (FAO/WHO, 2013).

Чтобы ограничить накопление биогенных аминов в процессе ферментации продуктов оптимизируют условия их производства (изготовления): качество сырья, температуру, благоприятную для роста закваски, контролируют рост микроорганизмов и вводят адекватные количества добавок (сахар, соль, антимикробные средства) (Saha Turna et al., 2024). Во избежание порчи продуктов достаточно соблюдения условий и сроков их хранения. Технологии консервирования под высоким давлением обладают высоким потенциалом предотвращения накопления биогенных аминов в пищевой продукции благодаря инактивации микроорганизмов, вырабатывающих декарбоксилазу и подавлению активности фермента (Ganjeh et al., 2024).

Нитрозамины

В мясе и мясной продукции в результате реакции между вторичными и третичными аминами и нитритами в кислой среде (и как правило при нагревании) могут образовываться канцерогенные и генотоксичные *N*-нитрозосоединения (Nerín et al., 2016; Vidaček, 2013; Y. Zhang et al., 2023). В основном это смесь *N*-нитрозаминов и *N*-нитрозамидов.

Образование нитрозаминов может быть также связано и с восстановлением вторичных биогенных аминов из разложившейся или испорченной рыбы (Hernandez-Ledesma & Herrero, 2013). Биогенные амины, как упоминалось выше, являются их прекурсорами.

Нитрозодиметиламин (НДМА) обнаружен в некоторых продуктах после сушки или обжарки на открытом огне (Nerín et al., 2016). Это наиболее распространенный в пищевых продуктах нитрозамин, реже обнаруживается нитрозопирролидин (превалирует в беконе). Содержание в беконе *N*-нитрозоанилина и *N*-нитрозоморфолина коррелирует и уровнем добавляемых в процессе приготовления нитритов, причём максимальные их количества обнаружены при обжаривании на сковороде (Deng et al., 2021). Максимально допустимое содержание нитрозаминов нормируется ТР ТС 021/2011 в рыбной продукции и морских млекопитающих (в т.ч. сушеной продукции), а также в консервах мясных, из мяса птицы с добавлением нитрита натрия и консервах из субпродуктов, на уровне 0,003 и 0,002 мг/кг соответственно.

Для предотвращения контаминации продуктов нитрозаминами, необходимо контролировать качество и безопасность сырья, воды и соли и ограничить использование нитритов в технологическом процессе (Deng et al., 2021; Vidaček, 2013). Установлено также, что добавление некоторых растительных экстрактов (например листьев бамбука) может предотвратить образование *N*-нитрозаминов, как и добавление пробиотиков (некоторые штаммы *Lactobacillus* spp. и *Pediococcus* spp.) существенно снизить содержание нитритов (Y. Zhang et al., 2023). Кроме того, на пару и при кипячении образуется меньшее количество нитрозаминов, чем в духовке и на гриле (Nerín et al., 2016). Нитратредуцирующая активность некоторых бактерий также может приводить к образованию *N*-нитрозосоединений, но процесс можно ингибировать добавлением витаминов С и Е (Y. Zhang et al., 2023).

Загрязнители из упаковки

Стадия упаковки может стать источником контаминации пищевых продуктов при их непосредственном контакте с упаковочными материалами. Пластик, бумага и консервные банки, могут привести к загрязнению готовой продукции мономерами и олигомерами, пластификаторами, катализаторами и растворителями, биоцидами, отбеливателями, красителями и восками, а также смолами, используемыми для покрытия банок (Alamri et al., 2021; Mühlemann, 2014). Миграция загрязнителей зависит от времени контакта, температуры, pH, состава продукта (содержания в нём протеинов, жиров, пищевых кислот и т.д.), концентрации и свойств загрязнителя (летучесть, растворимость, липофильность), метода обработки, влажности, доступа света (Alamri et al., 2021). Диффузия является основным механизмом миграции загрязнителей из упаковки в продукт и из продукта в упаковку. Для её оценки разработаны математические модели, которые совершенствуются по мере более глубокого понимания влияющих на процессы переноса факторов.

Перфторированные и полифторированные соединения

Миграция перфторированных и полифторированных соединений (ПФАС) из упаковочных материалов в пищевые продукты ускоряется при хранении под прямыми солнечными лучами вследствие деструкции упаковки под действием УФ (Thakali & MacRae, 2021). Однако необходимо отметить, что ПФАС относятся к распространённым загрязнителями окружающей среды (Park et al., 2022; Schilberg et al., 2021). Это связано с их широким использованием в различных отраслях промышленности и бытовых изделиях (Neo et al., 2022).

Основными ПФАС, обнаруживаемыми в воде и продуктах питания, являются перфторбутират, перфторпентановая, перфторгексановая и перфтороктановая (ПФОК) кислоты (Thakali & MacRae, 2021). Поэтому нельзя исключать возможную контаминацию готовой продукции с сырьём, а не только из упаковки. ПФОК классифицируется Международным агентством по исследованию рака (МАИР, *англ.* IARC, International Agency for Research on Cancer) как канцероген 2-й группы (группа 2A — канцероген для человека с высокой вероятностью) (Schilberg et al., 2021).

Известно, что перфторированные соединения с более короткой цепью накапливаются в листьях и плодах,

а с более длинной — в корнях (Thakali & MacRae, 2021). Однако экспериментальных данных немного. В настоящее время большинство исследований сосредоточено на идентификации перфторированных и полифторированных соединений в воде и водных организмах (Fujii et al., 2020), поэтому даже для предварительной оценки риска загрязнения пищевой продукции сведений пока недостаточно.

Бисфенол А

Бисфенол А (БФА) используют в качестве мономера при производстве пластиковой тары для пищевых продуктов (Ghahremani et al., 2024; Lambré et al., 2023). Кроме того, эпоксидной смолой на его основе покрывают дно консервных банок. На степень миграции БФА в консервированную продукцию влияет не только состав и толщина покрытия, но и температура обработки, время, температура и объём воздуха в банке при хранении, содержание в продукции жира и консервантов (CEF, 2015; Ni et al., 2022).

БФА относится к группе эндокринных разрушителей, и в 2023 году EFSA пересмотрело переносимую суточную дозу, снизив её в 20 000 раз (до 0,2 нг/кг веса в день) (CEF, 2015).

Пути загрязнения мясной, рыбной и молочной продукции БФА остаются до конца не выясненными: миграция из упаковки может быть не единственным путём контаминации. Согласно результатам исследований (Gorecki et al., 2017) среднее содержание БФА в мясе и рыбе в упаковке и на развес отличалось незначительно, а в готовой мясной продукции, птице и субпродуктах (печени) без упаковки было выше. В работе (Santonicola et al., 2018) показано, что в упакованном молоке содержание БФА ниже, чем в исходном сырье. Предполагаемые альтернативные пути загрязнения: разделочные доски, плёнка для заворачивания мяса и косметика с рук работников (Gorecki et al., 2017) и поступление в организм животных с кормом и водой (Santonicola et al., 2018).

В России в настоящее время отсутствуют официально утверждённые аттестованные методики определения содержания БФА в пищевой продукции. В связи с широкомасштабным производством и применением поликарбонатного пластика и эпоксидных смол на основе

БФА для оценки его фоновых концентраций и обеспечения безопасности продукции животноводства необходимо исследование его содержаний и нормирование не только в объектах окружающей среды, но и в организме животных.

Фталаты

В качестве пластификаторов при производстве упаковочных материалов зачастую используются фталаты (производные фталевой кислоты, чаще всего диоктилфталат, ди(2-этилгексил)фталат) (Alamri et al., 2021). В бутилированной воде обнаружен их широкий спектр: ди(2-этилгексил)фталат, бензилбутилфталат, ди(н-октил)фталат, дибутилфталат, диэтилфталат, диметилфталат, диизодецилфталат, диизононилфталат, диизобутилфталат, бензилбутилфталат и т.д. (Luo et al., 2018), в детском питании преобладают диэтилфталат и ди(2-этилгексил)фталат (Ulanova et al., 2021), в соковой продукции — ди(н-октил)фталат, динонилфталат и ди(2-этилгексил)фталат (Зайцева и соавт., 2018).

Возможным источником поступления эфиров фталевой кислоты в бутилированную воду, соковую продукцию и детское питание могут быть прокладки для крышек, которые изготавливают из ПВХ, ПВА, полистирола, поликарбоната, полиэфиров, пластифицированных эфирами о-фталевой кислоты (Sanchis et al., 2017). Использование в пищевой промышленности некоторых фталатов в связи с их потенциальной опасностью для здоровья человека и животных ограничено в ЕС, США и Китае, в список приоритетных загрязнителей включены диметилфталат, бензилбутилфталат, дибутилфталат, диэтилфталат, ди(н-октил)фталат и ди(2-этилгексил)фталат.

В России содержание фталатов нормируется в упаковке, воздухе, питьевых и поверхностных водах СанПиН 1.2.3685–21, для определения диметилфталата, диэтилфталата, дибутилфталата, бензилбутилфталата, ди(2-этилгексил)фталата в молоке разработан МУК 4.1.3160–14¹. Содержание фталатов в пищевой продукции, как и БФА, не нормируется, оценивается только степень миграции.

Микропластик и нанопластик

Объём ежегодного производства пластика в мире составляет порядка 400 млн тонн, согласно прогно-

¹ МУК 4.1.3160–14 «Измерение массовых концентраций фталатов (диметилфталата, диэтилфталата, дибутилфталата, бензилбутилфталата, ди(2-этилгексил)фталата) в молоке методом высокоэффективной жидкостной хроматографии».

зу к 2050 г. вероятно его утроение. После попадания в окружающую среду под действием внешних факторов (УФ-излучение, механическое воздействие, метаболические превращения) он фрагментируется с образованием микро- и нанопластика (размер частиц от 1 мкм до 5 мм и от 1 нм до 1 мкм соответственно) (Martín-Gómez et al., 2024; Sohail et al., 2023).

В пищевой продукции главным образом присутствуют частицы полипропилена и полиэтилена, используемых в качестве упаковочных материалов (Sohail et al., 2023). На уровень миграции микропластика влияют температура (микроволновое излучение приводит к более высокому его высвобождению); состав среды продукта и его кислотность (более высокие уровни миграции в кислой среде); время контакта; характеристики упаковочного материала (плотность упаковки полимера, толщина материала, добавки); и механическое воздействие («истирание» материала при контакте с продуктом) (Shruti & Kutralam-Muniasamy, 2024). Поверхность грудки может быть загрязнена микропластиком из упаковки (Vitali et al., 2023). Однако, контаминация пищевой продукции может происходить, как и в случае с БФА, не только при непосредственном контакте с пластиком, но и на всём протяжении производственной цепи, в том числе через сырьё (почва * растения, корма * животные) и воду (Martín-Gómez et al., 2024; Sohail et al., 2023; Vitali et al., 2023). Опубликованы данные о способности частиц пластика размером менее 1,5 мкм проникать через кишечный барьер, а также мигрировать в толщу тканей (CONTAM, 2016a).

До недавнего времени частицы микропластика обнаруживали только в рыбе, двухстворчатых моллюсках, крабах, креветках, морских ежах, водорослях и других водных организмах (Vitali et al., 2023). Однако в последние годы перечень исследованных видов пищевой продукции существенно расширился, и они были обнаружены в овощах, фруктах (яблоках, грушах, брокколи, моркови, салате) и продукции животного происхождения (в мёде, мясе птицы и субпродуктах).

На частицах пластика могут быть сорбированы вредные для здоровья химические соединения такие как полибромированные дифениловые эфиры, БФА, фталаты, а также другие контаминанты из окружающей среды (Zurier & Goddard, 2021). Их токсичность хорошо изучена, в отличие от собственной токсичности микро- и нанопластика (CONTAM, 2016a).

Большинство исследований объектов окружающей среды и продуктов питания в настоящее время посвя-

щены идентификации и определению микропластика (Cunningham et al., 2023). Потенциальные токсические эффекты включают окислительный стресс, нарушение обмена веществ, иммунный ответ, нейротоксичность, а также репродуктивную токсичность и токсичность для развития (Martín-Gómez et al., 2024). Однако ввиду недостаточности экспериментальных данных о собственной токсичности микро- и нанопластика (CONTAM, 2016a) модели оценки риска в их отношении в настоящее время не предложены.

Предварительные исследования воздействия нанопластика на живые организмы на примере цыплят показали, что он может нарушать всасывание железа, а ряд исследований на культурах клеток человека выявил нарушение экспрессии генов (CONTAM, 2016a; Cunningham et al., 2023; Zurier & Goddard, 2021). Лабораторные исследования токсичности ограничиваются как правило частицами одного вида пластика — полистирола (Cunningham et al., 2023). Данных для проведения оценки риска пока недостаточно (CONTAM, 2016a; Cunningham et al., 2023). Объективные сведения о содержании микро- и нанопластика отсутствуют, поэтому пока невозможно разработать меры его контроля в пищевой продукции.

Для снижения содержания микро- и нанопластика в продуктах питания необходима минимизация их контакта с пластиковыми поверхностями как на этапе производства (изготовления), так и при дальнейшем хранении. В случае загрязнения окружающей среды в настоящее время предложен не только постепенный переход к использованию биоразлагаемых пластмасс, но и технологии биоразложения с использованием ферментов микроорганизмов, разрушающих пластик (Zurier & Goddard, 2021). Влияние микропластика на здоровье человека и животных малоизучено, и пока его можно рассматривать только в качестве потенциального загрязнителя.

Элементы и элементарноорганические соединения

Элементы и элементарноорганические соединения в рамках данной работы рассматриваются в отдельном разделе, так как данный вид загрязнения возможен на всех этапах производства готовой продукции.

Основные токсичные элементы: кадмий, свинец, ртуть и мышьяк. Антропогенное загрязнение играет ключе-

вую роль в загрязнении ими продуктов питания, хотя для некоторых регионов естественный путь контаминации кадмием и ртутью также возможен (Perugini et al., 2016; Wang et al., 2023). Пищевыми источниками кадмия являются зерновые (рис, озимая пшеница, овёс, ячмень) и овощные продукты (шпинат и салат-латук), растительное масло, грибы, а также некоторые виды рыбы и продукция аквакультуры (моллюски, устрицы, мидии) (Smith & Kim, 2017; Vidaček, 2013). Злаки и овощи являются и основным путём поступления свинца в рацион (Smith & Kim, 2017). Наиболее распространённая форма органической ртути в рыбе и морепродуктах — метилртуть (Vidaček, 2013). В других продуктах ртуть присутствует преимущественно в неорганической форме, в том числе в некоторых видах грибов (Drewnowska et al., 2012).

Проблема загрязнения пищевой продукции мышьяком связана с использованием загрязненной воды для орошения сельскохозяйственных культур (в основном риса) и загрязнения продукции животноводства в случае присутствия в рационе домашнего скота кормов и пищевых добавок, содержащих мышьяк (Upadhyay et al., 2019). Высокие уровни накопления мышьяка, сопоставимые с рисом в пересчете на сухой вес, обнаружены в картофеле. В растительной продукции (зерновых и овощах) в основном присутствует неорганический мышьяк, в грибах — органический и неорганический (Liu et al., 2023), в морепродуктах — доминируют органические его формы (арсеносахара, арсенобетаины, арсеноллипиды и т.д.) (Upadhyay et al., 2019).

В исследовании (Ling et al., 2014) обнаружено, что в сырой рыбе содержится меньшее количество As, чем в жареной. Обжаривание приводит к максимальному увеличению содержания As за счёт снижения содержания воды, далее следуют приготовление на гриле и запекание. Токсичность различных форм мышьяка отличается, что связано с их растворимостью и биодоступностью (J. Li et al., 2021; Upadhyay et al., 2019). Неорганические соединения As(III) и As(V) считаются более токсичными. В процессе приготовления при высокой температуре отмечена способность арсенобетаина и арсенохолина превращаться в триметиларсин, триметиларсина оксид и диметиларсинат (Cheyins et al., 2017). Согласно ТР ТС 021/2011 допустимые уровни токсичных элементов в рыбе, нерыбных объектах промысла и продуктах, вырабатываемых из них, предполагают пересчет на исходный продукт с учетом содержания сухих веществ в нём и конечном продукте.

Тяжелые металлы (Приложение 4) не подвергаются биологической деградации, способны аккумулироваться в живых организмах, в результате попадая в продукцию, употребляемую человеком. Кроме того, они не испаряются и не разлагаются на безвредные компоненты в процессе обработки сырья, а чаще всего мигрируют в обрабатывающую среду, либо сохраняются в готовой продукции в неизменном виде.

Оптимизация количества воды, температуры и продолжительности приготовления необходима для снижения риска накопления элементарноорганических соединений, в том числе токсичных форм мышьяка при приготовлении рыбы (Ling et al., 2014). Варка как показано на примере американского сига (*Coregonus clupeaformis*) снижает содержание мышьяка в рыбе, но приводит к увеличению содержания селена (Amyot et al., 2023). Уменьшение в процессе приготовления общего содержания мышьяка на примере китайского мохнаторукого краба (*Eriocheir sinensis*) подтверждено и в работе (Cao et al., 2022). Использование большого количества воды приводит к значительному снижению его суммарного содержания в процессе мойки зерновых и овощей, замачивания и приготовления (Liu et al., 2023). Многообещающий подход к снижению токсичности As — ферментация, так как она позволяет перевести неорганический As в его менее токсичные метилированные формы. Для снижения содержания Cd в рисе наиболее простым и доступным остаётся физический метод, включающий в себя предварительное замачивание в воде и приготовление (также в воде) (Wang et al., 2023). Доказано, что кипячение не влияет на содержание ртути в тканях хека, а для лобстера процесс варки приводит к увеличению её концентрации (Perugini et al., 2016). Ртуть прочно связана с белками пищевой матрицы и может концентрироваться в результате этого процесса, так как при нагревании белки и коллаген денатурируются и сокращаются в объемах, что приводит к потере мышечными тканями воды (Amyot et al., 2023). Хотя умеренное потребление рыбы неопасно для человека, при употреблении большого количества (более трёх раз в неделю) загрязнённой метилртутью рыбы или продуктов мяса морских млекопитающих риск отравления существенно возрастает (Vidaček, 2013).

Из упаковочных материалов как правило мигрируют олово, свинец, железо, марганец, серебро, цинк, хром, никель, алюминий, медь, сурьма и селен (Pasias et al., 2018). Для консервированных продуктов в жестяной

О.И. Лаврухина, Д.А. Макаров, Е.С. Козеичева, Т.В. Балагула, А.В. Третьяков, М.А. Гергель, Е.А. Лозовая

упаковке важную роль в скорости миграции олова, свинца, железа и марганца играет время хранения. Как показано в работе (Buculei et al., 2014), самая высокая степень миграции металлов в продукцию наблюдается при температуре от 4 до 50 °С. Свинец, кобальт, никель и цинк могут попадать в продукты питания из керамических материалов и важную роль в скорости и степени их миграции и накоплении играет кислотность консервированных пищевых продуктов (Pasias et al., 2018).

Развитие нанотехнологий привело к созданию упаковочных материалов на их основе. Наиболее широкое применение при производстве упаковочных материалов для пищевой продукции в настоящее время нашли наночастицы Ag, Au, Fe, Ir, Cu, Pd, CuO, SiO₂, Al₂O₃, ZnO, Fe₂O₃ и Fe₃O₄, TiO₂ и TiN, а также монтмориллонит (наноглина, основной компонент бентонита) и хитозан (Bumbudsanpharoke & Ko, 2015; Mihindukulasuriya & Lim, 2014). Токсичность, антиоксидантные и антимикробные свойства нанокомпозитных упаковочных материалов зависят от размера наночастиц, входящих в их состав

(J. Y. Huang et al., 2015). Это может быть связано с площадью активной поверхности, контактирующей с кислородом, и способностью частиц проникать через клеточную мембрану.

Миграция неорганических наночастиц, как и других компонентов упаковочных материалов, контактирующих с пищевой продукцией, зависит от pH среды, времени контакта, температуры и влажности. Основным же определяющим фактор — технология производства упаковки: заливка раствором, электропрядение, выпаривание растворителя, двухшнековая экструзия, напыление спрея, погружение/реакция, реактивное магнетронное распыление (Mihindukulasuriya & Lim, 2014).

Сведения о группах загрязнителей, стадиях возможной контаминации и мерах снижения уровня загрязнения после извлечения данных на базе Приложения 1 обобщены в Таблице 3. Схема возможной контаминации готовой продукции представлена на Рисунке 3.

Таблица 3

Потенциальные загрязнители готовой продукции

Table 3

Potential Contaminants of Finished Products

Группа загрязнителей	Стадия производства/ Технологический процесс	Меры снижения уровня загрязнения
Антибактериальные препараты	Сырьё животного и растительного происхождения, загрязнённая вода	(1) «Нулевая толерантность» ¹ для потенциально опасных препаратов и продуктов их трансформации (Киш и соавт., 2022; Лаврухина и соавт., 2017, Ramos et al., 2017; Tian & Bayen, 2018); (2) Разработка максимально чувствительных методик определения остаточных содержаний антибиотиков в продовольственном сырье и готовой продукции (Amelin & Lavrukina, 2017).
Пестициды	-/-	(1) «Нулевая толерантность» для токсичных пестицидов и потенциально опасных продуктов их трансформации ¹ ; (2) Снижение пределов обнаружения методик определения содержания (Jia et al., 2024); (3) В зависимости от физико-химических свойств пестицида: промывка проточной водой; ферментация; гидролиз и окисление; фотодеградация (Djordjevic & Djurovic-Pejcev, 2016).
Аллергены	Сырьё растительного и животного происхождения	(1) Маркировка продукции без аллергенов (Planque et al., 2016); (2) Максимально чувствительные и специфичные методы определения содержания (отсутствие даже следовых количеств аллергенов) (Planque et al., 2016); (3) В зависимости от свойств веществ: термическая обработка, ферментация, ферментативный катализ, экструзия при высоком содержании влаги, гликозилирование, действие высокого гидростатического давления, ультразвук, импульсного ультрафиолетового излучения, холодной плазмы, взаимодействие с полифенолами (Cuadrado et al., 2023; Dong & Raghavan, 2022; Z. Huang et al., 2023).
Биотоксины	-/-	Контроль сырья: разработка чувствительных и селективных методик (Abraham & Rambla-Alegre, 2017; Vidaček, 2013).

¹ Joint FAO/WHO food standards programme codex committee on pesticide residues. 52nd Session (July-August 2021). URL: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/fr/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-718-52%252FCRDs%252Fpr52_CRD12x.pdf.

О.И. Лаврухина, Д.А. Макаров, Е.С. Козеичева, Т.В. Балагула, А.В. Третьяков, М.А. Гергель, Е.А. Лозовая

Окончание Таблицы 3

Группа загрязнителей	Стадия производства/ Технологический процесс	Меры снижения уровня загрязнения
Пищевые добавки	Технологии приготовления продуктов питания, предполагающие применение пищевых добавок; хранение	(1) Контроль содержания добавок в готовой продукции (Kumar et al., 2019); (2) Использование в качестве добавок безопасных природных биологически активных компонентов (El-Saber Batiha et al., 2021).
МХПД и глицидол	Высокотемпературная обработка продукции, содержащей растительные масла	(1) Нормирование и контроль содержания (Commission Recommendation 2014/661/EU); (2) Выбор подходящего сырья для производства масел (CONTAM, 2016b); (1) Снижение предшественников загрязнителей перед обработкой (Pudel et al., 2011); (2) Изменение условий и внедрение дополнительных этапов рафинирования масел (CONTAM, 2016b); (3) Снижение количества соответствующих эфиров в масле с помощью адсорбентов (CONTAM, 2016b).
Акриламид	Высокотемпературная обработка продукции, содержащей большие количества углеводов	(1) Нормирование и контроль содержания (Fan et al., 2023); (2) Прерывание реакции образования (рН и влажность, внесение добавок; снижение исходного содержания редуцирующих сахаров и аспарагина (промыывание, бланширование и ферментация, использование сырья с меньшим их содержанием (Adebo et al., 2017; Edna Hee et al., 2024; Stadler & Theurillat, 2017); (3) Оптимизация температуры и времени приготовления (Duedahl-Olesen et al., 2022b).
ПАУ	Копчение, приготовление на гриле и углях, продовольственное сырьё, упаковка	(1) Нормирование и контроль содержания ТР ТС 021/2011; (2) Фильтрация дыма (более «мягкие» условия копчения) (Vidaček, 2013); (3) Природные и синтетические антиоксиданты для ингибирования образования ПАУ; избегание прямого контакта продуктов с пламенем; отказ от повторного использования масла для фритюра (Singh et al., 2023).
Микотоксины	Хранение	(1) Контроль растительного сырья и кормов для животных (Jooste et al., 2014; Mahato et al., 2021); (2) Соблюдение норм температуры и влажности при хранении (Haque et al., 2020; Tolosa et al., 2021); (3) Химические и физические методы деконтаминации (гидролиз, консерванты, ферментация; УФ, «холодная плазма» и озонирование) (Thanushree et al., 2019); (4) Применение микроорганизмов и специфических ферментов, использование органических и неорганических адсорбентов (Haque et al., 2020; T. Li et al., 2024); (5) Внедрение современных биотехнологических подходов (Haque et al., 2020).
Биогенные амины	Сырьё животного происхождения, ферментация	(1) Контроль сырья и соблюдение условий и сроков хранения сырья и готовой продукции (Saha Turna et al., 2024); (2) Оптимизация условий производства ферментированных продуктов (Saha Turna et al., 2024); (3) Консервирование под высоким давлением (Ganjeh et al., 2024).
Нитрозамины	Взаимодействие между вторичными и третичными аминами и нитритами в кислой среде (как правило при нагревании); восстановление вторичных биогенных аминов	(1) Контроль качества и безопасности сырья, воды и соли, ограничение использования нитритов (Deng et al., 2021; Hernandez-Ledesma & Herrero, 2013; Vidaček, 2013); (2) Добавление в качестве консервантов безопасных природных соединений, добавление витаминов С и Е для ингибирования нитратредуцирующих бактерий (Y. Zhang et al., 2023).
Пер- и полифторированные соединения	Упаковка, продовольственное сырьё	Контроль сырья и готовой продукции: разработка чувствительных и селективных методик определения содержания (необходимы экспериментальные данные) (Thakali & MacRae, 2021; Theurillat et al., 2023)
БФА	Упаковка, контакт с контаминированными разделочными поверхностями, продовольственное сырьё	Нормирование и контроль содержания (CEF, 2015).
Фталаты	Упаковка	Ограничение использования потенциально опасных фталатов (Sanchis et al., 2017).
Микро- и нанопластик	Упаковка, продовольственное сырьё	(1) Разработка методик определения содержания в пищевой продукции (Hassoun et al., 2023; Martín-Gómez et al., 2024); (2) Оценка фоновых содержаний в объектах окружающей среды и продовольственном сырьё (CONTAM, 2016a; Cunningham et al., 2023).
Элементы и элементарно-химические соединения	Загрязнение возможно на всех этапах	Контроль сырья и готовой продукции (Лаврухина и соавт., 2017).

Примечание. «Нулевая толерантность» — в пищевой продукции не допускаются остаточные содержания веществ на уровне предела обнаружения методики.

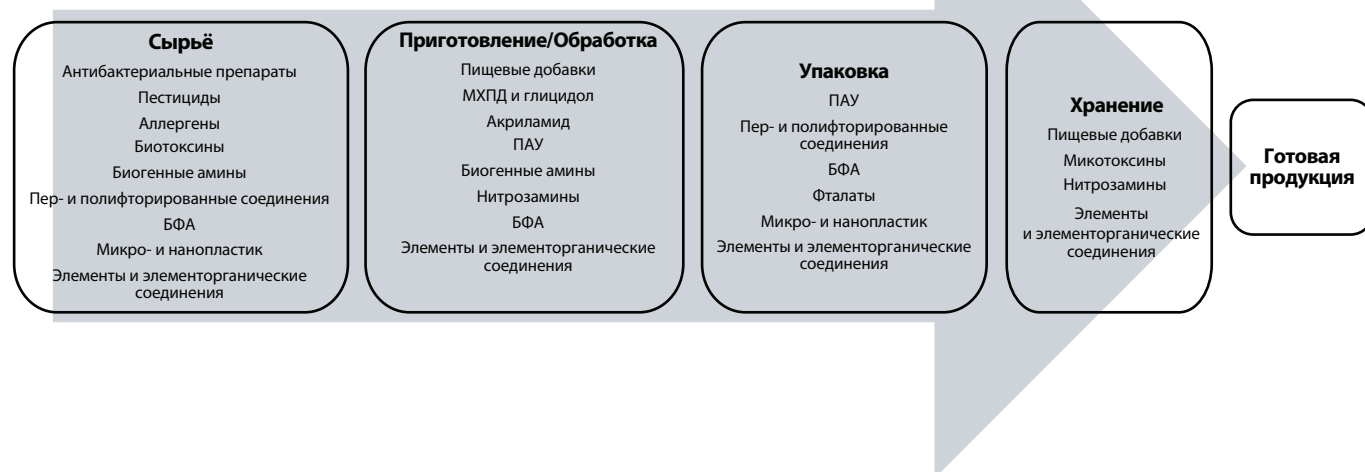
Note. “Zero tolerance” — residual levels of substances are not permitted in food products, even at the method’s limit of detection.

Рисунок 3

Схема возможной контаминации готовой продукции

Figure 3

Schematic of Possible Contamination of Finished Products



Перечень химических загрязнителей, а также допустимые уровни (ДУ) для одних и тех же веществ, могут значительно различаться в разных странах. Это связано с различными подходами, результатами научных исследований, концепциями пищевой безопасности, решениями должностных лиц, отвечающих за управление рисками, а также экономическими факторами. Эти различия могут создавать барьеры в международной торговле. Поэтому важно учитывать эти аспекты как производителям-экспортерам, так и контролирующим органам и лабораториям.

Современные тенденции в определении химических загрязнителей в пищевой продукции

В отношении соединений, для которых предусмотрена «нулевая толерантность» (МДУ — не допускается), необходима разработка максимально чувствительных методов лабораторного контроля. Это позволяет выводить из обращения сырьё, содержащее следовые количества (на уровне предела обнаружения методики) запрещённых и потенциально опасных веществ во избежание их аддитивного накопления в готовой продукции смешанного состава.

В анализе продовольственного сырья и готовой продукции в настоящее время наиболее актуальными направле-

ниями являются, во-первых, разработка методик определения содержания загрязнителей вне лабораторных условий, во-вторых, одновременный многокомпонентный анализ, в-третьих, изучение процессов и определение продуктов трансформации, и в-четвертых, разработка методик контроля потенциальных загрязнителей, обусловленных появлением новых материалов.

Биосенсоры благодаря своей простоте, доступности и возможности анализа «на месте» (*on-site*) нашли широкое применение в контроле качества и безопасности пищевой продукции (Kobun, 2021). Они позволяют отличать натуральные продукты от синтетических и выявлять их фальсификацию, оценивать сроки годности и параметры безопасности (микробиологические и химические), а также контролировать технологические процессы при ферментировании. Электрохимические иммуносенсоры предложены для определения в пищевой продукции аллергена моллюсков тропомиозина (Torre et al., 2022), устойчивого к термической обработке и ферментативному протеолизу аллергена сои Gly m TI (Dias et al., 2024), биогенных аминов в рыбе и морепродуктах (Dias et al., 2024), акриламида в продуктах, подвергающихся высокотемпературной обработке (Edna Hee et al., 2024). Люминесцентные иммуносенсоры используются для определения антибиотиков в молоке (Brown et al., 2022; Zhang et al., 2024).

Для определения биогенных аминов предложены также различные флуоресцентные и колориметрические сенсоры, в том числе способ установления порчи морепродуктов методом цифровой цветометрии индикаторных тест-систем (Амелин, Шаока, Большаков, Третьяков, и соавт., 2023). Цифровая цветометрия, цветометрия собственной флуоресценции образцов и диффузного отражения ИК-излучения с использованием смартфона и хеометрического анализа позволяют решать задачи выявления фальсификации продуктов питания (Амелин, Емельянов, и соавт., 2024; Амелин, Шаока, и соавт., 2024), а кроме того, идентифицировать и аутентифицировать их происхождение (Амелин, Шаока, & Большаков, 2023; Амелин, Шаока, Большаков, & Третьяков, 2023). Цифровая колориметрия предложена также для определения фторидов в воде и молоке (Kovalchuk et al., 2024).

Миниатюризованная молекулярная спектроскопия в ближней и средней областях ИК-спектра в сочетании с хеометрическим анализом позволяет также проводить фенотипирование, контроль качества и аутентификацию пищевой продукции, и идентификацию в продуктах питания загрязняющих веществ (Rodriguez-Saona et al., 2020). Развитие нанотехнологий позволило разработать на их основе нано- и нанобиосенсоры для контроля биологической и химической контаминации продовольственного сырья и пищевой продукции (Kuswandi et al., 2017). Однако, несмотря на все преимущества сенсоры и тест-системы позволяют предварительно оценить содержание загрязнителей и в случае их обнаружения потребуются подтверждающий арбитражный анализ.

В количественном анализе продовольственного сырья и пищевой продукции по показателям качества и безопасности предложены стандартизованные селективные, чувствительные и точные методики. Определение токсичных элементов, тяжелых металлов, микро- и макроэлементов проводят методами атомной спектроскопии и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП–МС) (Морев & Виноградова, 2019; Grachev et al., 2023). Решение более сложных аналитических задач возможно с использованием гибридных методов. Так, для дифференцированного определения элементов и их элементарноорганических форм применяют ВЭЖХ–ИСП–МС¹.

Разнообразие потенциальных загрязнителей продовольственного сырья и готовой продукции и сложность матриц требует разработки универсальных, чувствительных и селективных методик одновременного определения большого спектра соединений. Разделение компонентов методами газовой и высокоэффективной хроматографии в сочетании с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ–МС, ВЭЖХ–МС/МС) наиболее широко применяется для определения лекарственных препаратов, пестицидов, микотоксинов, диоксинов, ПХБ, биогенных аминов и нитрозаминов, пластификаторов, пер- и полифторированных соединений, МХПД, ПАУ, акриламида, фитоэстрогенов. Примеры применения разработанных методик представлены в Таблице 4.

В продуктах питания могут содержаться связанные формы токсикантов. Так, замаскированные микотоксины (конъюгированные, например с глюкозой) не могут быть обнаружены обычными методами (Stadler, 2019). В мутном яблочном соке (с мякотью) может содержаться патулин, до 20 % которого не обнаруживается ВЭЖХ–УФ (Mahato et al., 2021). Ковалентную связь патулина с белками и небольшими пептидами трудно разорвать в процессе пробоподготовки. При этом в процессе гидролиза в ЖКТ токсичные соединения могут высвобождаться, что представляет угрозу здоровью потребителей.

Для одновременного определения диоксинов, ПХБ и пестицидов эффективно использование двумерной газовой хроматографии в сочетании с времяпролетной масс-спектрометрией (ГХ²ГХ–МС–ВП) (Planche et al., 2017). Метод востребован благодаря более высокому чем в случае одномерной ГХ разрешению, чувствительности и возможности высокопроизводительного анализа сложных образцов с высоким содержанием жира.

Биологическое разнообразие морских обитателей обуславливает большое количество возможных разных по структуре и свойствам токсинов (Vidaček, 2013). Поэтому для определения биотоксинов в рыбе, рыбной продукции и морепродуктах также необходим многокомпонентный анализ. Использование масс-спектрометрического детектирования позволяет обнаруживать новые, ранее не идентифицированные морские токсины (Leal & Cristiano, 2022).

¹ ГОСТ 34462–2018. Определение содержания неорганического мышьяка методом высокоэффективной жидкостной хроматографии — масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Стандартиформ.

О.И. Лаврухина, Д.А. Макаров, Е.С. Козеичева, Т.В. Балагула, А.В. Третьяков, М.А. Гергель, Е.А. Лозовая

Таблица 4

Высокоэффективная жидкостная и газовая хроматография с масс-спектрометрическим детектированием в анализе продовольственного сырья и пищевой продукции

Table 4

High-Performance Liquid and Gas Chromatography with Mass-Spectrometric Detection in the Analysis of Food Raw Materials and Food Products

Аналит	Объект анализа	Метод определения	Предел обнаружения / определения	Литература
756 загрязнителей: пестициды, СОЗ, ветеринарные препараты, морские токсины	Продукция аквакультуры	ВЭЖХ–МС-ВП	— / ≤10,0 мкг/кг	(Bai et al., 2022)
492 загрязнителя: пестициды и их метаболиты, ветеринарные препараты, микотоксины, красители	Молоко, мясо, рыба, жир, яйца, субпродукты, овощи и фрукты, зерно и корма	ВЭЖХ–МС-ВР	0,0005–100 нг/мл / 0,003–250 нг/мл	(Amelin et al., 2016)
337 загрязнителей: пестициды, микотоксины и ветеринарные препараты	Детские молочные смеси	УВЭЖХ–МС-ВР	- / 0,049–0,39 нг/мл	(Izzo et al., 2022)
46 пестицидов	Растительные масла	ГХ–МС/МС	— / 1 нг/г	(Zhao et al., 2019)
25 пестицидов	Молоко и молочная продукция	ГХ–МС	— / <МДУ	(Manav et al., 2019)
8 биогенных аминов	Сушеное мясо яка	ВЭЖХ–МС/МС	0,40–2,50 мкг/кг / 1,25–7,50 мкг/кг	(Xia et al., 2024)
13 фталатов	Соковая продукция	ВЭЖХ–МС/МС	— / 0,0003–0,012 мг/дм³	(Зайцева и соавт., 2018)
9 фталатов	Детское питание	ВЭЖХ–МС/МС	~0,003 мг/кг/ -	(Ulanova et al., 2021)
27 пластификаторов, включая фталаты	Кофе (в т.ч. капсулированный)	ГХ–МС-ВР	0,004–3,2 мг/л / 0,012–9,1 мг/л	(Di Bella et al., 2014)
27 пластификаторов	Чай (в т.ч. в пакетиках)	ГХ–МС-ВР	0,005–3,752 мг/л / 0,015–12,502 мг/л	(Lo Turco et al., 2015)
Фуран, хлороформ, бензол, трихлорэтен, толуол и стирол	Детское питание, арахисовое масло, консервированный тунец, напитки	ГХ–МС	0,02–1,68 нг/г / 0,05–5,1 нг/г	(Nyman et al., 2014)
Глицидиловые эфиры и МХПД	Маргарин	ВЭЖХ–МС/МС	3 и 30 нг/г / 10 и 100 нг/г	(Custodio-Mendoza et al., 2023)
Акриламид	Чипсы и жареный картофель	ГХ–МС	4 мкг/кг / 10 мкг/кг	(Molina-Garcia et al., 2015)
ПАУ: бензо[а]антрацен, хризен, бензо[б]флуорантен и бензо[а]пирен	Мясо, приготовленное на гриле	ГХ–МС	0,008–0,21 мкг/кг / 0,24–0,63 мкг/кг	(Lee et al., 2016)
N-нитрозоанилин и N-нитрозоморфолин	Обжаренный бекон	ГХ–МС/МС	—	(Deng et al., 2021)
189 ПХБ, 17 ПХДД и ПХДФ, 16 пестицидов	Мясо	ГХ×ГХ–МС-ВП	—	(Planche et al., 2017)
Пер- и полифторированные соединения	Морепродукты	УВЭЖХ–МС/МС	≤0,0017 нг/г / 0,001–0,005 нг/г	(Sun et al., 2021)
57 пер- и полифторированных соединений	Сухое молоко, молочные смеси для детского питания, пюре для детского питания на мясной основе, рыба и рыбий жир, свежие яйца и растворимый кофе	ВЭЖХ–МС/МС	— / 0,01 мкг/кг	(Theurillat et al., 2023)
67 фитоэстрогенов	Растительная продукция	ВЭЖХ–МС/МС	— / 5,5–331,8 нг/мл	(Myrtsi et al., 2023)

Примечание. Таблица составлена авторами обзора, основываясь на информации из проанализированных источников.

Note. The table was compiled by the authors of the review based on information from the analyzed sources.

Аллергены являются сложными аналитами не только при использовании методов ПЦР и ИФА (недостаточная специфичность зачастую приводит к ложноположительным или ложноотрицательным результатам), но и в количественном химическом анализе методом ВЭЖХ–МС/МС (Planque et al., 2016). Его специфичность и чувствительность даёт возможность проводить одновременный многокомпонентный анализ не только сырой продукции, но и в обработанной. Однако для количественного определения «скрытых» пищевых аллергенов в прошедшей обработке продукции необходимы внутренние стандарты. Масс-спектрометрия высокого разрешения (МС-ВР) отличается большей точностью и позволяет в сочетании с ВЭЖХ не только идентифицировать маркерные пептиды, но и определять их содержание, как показано на примере основных аллергенных белков коровьего молока α -s1-казеина и b -лактоглобулина в мясных продуктах (Bianco et al., 2022), маркерных пептидов аллергенов молока, яиц, ракообразных и сои в мясной и рыбной продукции (Stella et al., 2020), а также молока, яиц, арахиса, сои, фундука и миндаля в порошковом бульоне и шоколаде (Pilolli et al., 2021).

Капиллярный электрофорез является конкурентоспособной альтернативой традиционно используемым подходам оценки безопасности и качества пищевой продукции при определении биогенных аминов, микотоксинов, ароматический и гетероциклических аминов, антибиотиков, пестицидов, ПАУ, фталатов, пищевых добавок (в том числе синтетических красителей), неорганических и органических ионов (Большаков & Амелин, 2023).

Сложность процессов трансформации и дополнительный риск контаминации готовой продукции подразумевает внедрения нестандартных подходов в химическом анализе. Образование ПАУ может быть связано с реакцией, опосредованной свободными радикалами, а ненасыщенные углеводороды могут быть предшественниками ПАУ при обжаривании. Для обнаружения промежуточных продуктов и более подробного изучения механизмов образования ПАУ эффективна технология отслеживания изотопов и их онлайн-идентификации (Xu et al., 2023).

ISO 18363–4:2021 предложена ГХ–МС/МС-методика одновременного определения эфиров 2-МХПД (свя-

занный 2-МХПД), сложных эфиров 3-МХПД (связанный 3-МХПД) и глицидиловых эфиров (связанный глицидол), основанная на расщеплении эфира при щелочном гидролизе и дериватизации расщепленных (свободных) аналитов фенилбороновой кислотой¹. Однако она позволяет определять содержания аналитов только в твердых и жидких жирах и маслах и не распространяются на молокосодержащую и белково-жировую продукцию, спреды, маргарины и соусы.

Как показывает анализ литературных данных, в продовольственном сырье могут содержаться метаболиты и продукты абиотической трансформации лекарственных препаратов, микотоксинов и пестицидов, не менее опасные, чем исходные соединения (Киш и соавт., 2022). Нецелевой анализ, основанный на применении хроматографического разделения в сочетании с МС-ВР, является наиболее перспективным инструментом для определения не выявленных в рамках целевого исследования загрязнителей.

Новые материалы также представляют дополнительную угрозу контаминации готовой продукции. Для определения наночастиц необходимо одновременное использование нескольких методов, так как каждый из них в отдельности оказывается неинформативным. Анализ должен включать в себя обработку изображений (растровая, просвечивающая электронная и атомно-силовая микроскопия); характеристику частиц (МС, рентгеновская дифракция, ядерный магнитный резонанс) и их разделение (ВЭЖХ, гидродинамическая хроматография, FFF (*англ.* Field-Flow Fractionation — фракционирование в потоке при наличии поля) (Artiaga et al., 2015). При определении наночастиц в пищевой продукции хорошо зарекомендовали себя МС-ИСП и ОЭС-ИСП в сочетании с эксклюзионной, гель-проникающей хроматографией, гель-электрофорезом и дифференциальным анализатором подвижности частиц в электрическом поле (G. Singh et al., 2014).

Миграцию титана и цинка в пищевую продукцию из наночастиц их оксидов (TiO₂- и ZnO-содержащие композитные упаковочные материалы) характеризуют методами МС-ИСП и ОЭС-ИСП в сочетании с электронной микроскопией и AF4 (Lin et al., 2014; Peters, van Bommel, et al., 2014; Song et al., 2014). Определение наносеребра возможно методом AF4–МС-ИСП и SP–МС-ИСП, допол-

¹ ISO 18363–4:2021. Animal and vegetable fats and oils — Determination of fatty-acid-bound chloropropanediols (MCPDs) and glycidol by GC/MS. Part 4: Method using fast alkaline transesterification and measurement for 2-MCPD, 3-MCPD and glycidol by GC-MS/MS.

нительное подтверждение морфологии частиц осуществляют растровой электронной и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией (Artiaga et al., 2015; Peters, Rivera, et al., 2014).

Анализ частиц микро- и нанопластика состоит трёх этапов — выделения, детектирования с подсчётом количества частиц и идентификации. Для выделения частиц пластика используют кислотный, щелочной и ферментативный гидролиз образца, фильтрацию и разделение на основе гидрофобных взаимодействий (CONTAM, 2016a; Gmshinski et al., 2023). Для детектирования микропластика и подсчёта частиц применяют оптическую, флуоресцентную электронную и атомно-силовую микроскопию. Для идентификации подходит рамановская спектроскопия и ИК-спектроскопия с преобразованием Фурье, также предложены гибридные методы с использованием масс-спектрометрии: пиролитическая газовая хроматография с МС-детектированием (CONTAM, 2016a; Gmshinski et al., 2023; Hassoun et al., 2023; Vitali et al., 2022). Референтного метода определения микро- и нанопластика в пищевой продукции в настоящее время не предложено (Hassoun et al., 2023; Martín-Gómez et al., 2024). Не определена и единая единица измерения его содержания (Gmshinski et al., 2023), а разработанные методики не содержат полного набора валидационных характеристик (Vitali et al., 2022).

Дальнейшее развитие аналитического контроля готовой продукции предполагает таким образом, во-первых, совершенствование сенсоров и переход от полуквантитативной к количественной оценке содержания загрязнителей, что возможно с использованием хемометрических подходов обработки данных. Во-вторых, разработку методик одновременного многокомпонентного анализа максимально широкого спектра загрязнителей. В-третьих, внедрение методов онлайн-детектирования в рамках производственного контроля. И в-четвертых, разработку и стандартизацию методик определения загрязнителей, обусловленных применением в пищевой промышленности новых материалов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведённый обзор позволил системно зафиксировать основные направления исследований в области химической контаминации готовой пищевой продукции, выявить преобладающие группы загрязнителей, определить точки поступления химических агентов

на различных этапах производственно-логистической цепи и сопоставить научные данные с практиками лабораторного и нормативного контроля. При этом была предпринята попытка интеграции данных как академических источников, так и ведомственных информационных систем (Vetis, ANSES), что позволило расширить традиционные рамки литературы, обычно ограниченной только научными публикациями.

Полученные результаты показывают, что современные исследования сосредоточены преимущественно на трёх кластерах загрязнителей: остаточные количества ветеринарных препаратов (в первую очередь, тетрациклинов), мигрирующие из упаковочных материалов соединения (фталаты, первичные ароматические амины) и продукты термической трансформации (акриламид, полициклические ароматические углеводороды). Эта структура в целом подтверждает выводы предыдущих обзоров (Nerín et al., 2016; FAO, 2017; Guo et al., 2022), однако в ряде аспектов позволяет уточнить или скорректировать их позиции.

В отличие от систематических обзоров, фокусировавшихся исключительно на отдельных классах загрязнителей или конкретных пищевых матрицах (см., например, Abolhassani et al. (2020) — по фталатам в мясной продукции; Liu et al. (2021) — по ПАУ в выпечке), настоящая работа охватывает широкий спектр категорий готовых продуктов, включая сложные блюда, полуфабрикаты, изделия из теста, молочные десерты и пр. Это обеспечивает более репрезентативную картину химических рисков в современной структуре потребления. Кроме того, ряд предшествующих обзоров не учитывал вторичные загрязнители, формирующиеся в процессе хранения и повторной термической обработки, тогда как в рамках нашего анализа такие механизмы рассматриваются как важная и недооценённая компонента контаминационного профиля.

Сравнение с метаобзорами EFSA (2020–2022) и ANSES показывает, что регуляторные данные имеют более высокий охват, но ограниченную аналитическую глубину. В отличие от них, настоящий обзор сочетает количественные индикаторы с оценкой распределения тематических и методологических акцентов, что позволяет выявить как нормативные, так и исследовательские лакуны. Например, несмотря на наличие МДУ по большинству целевых соединений, отсутствуют унифицированные протоколы оценки совокупной экспозиции от смешанных загрязнителей, а нормативы на упаков-

вочные мигранты в странах ЕАЭС существенно уступают по жёсткости требованиям ЕС.

На уровне методов анализа заметна тенденция к доминированию подходов многокомпонентного анализа на основе хромато-масс-спектрометрии (GC-MS, LC-MS/MS), что согласуется с выводами Kumari et al. (2021), однако в практике, сохраняется высокая доля однофакторных экспресс-методов с ограниченной специфичностью. Это указывает на необходимость институционального укрепления лабораторной базы и адаптации валидированных методик под локальные условия.

Важно отметить, что в отличие от ранее опубликованных обзоров, в которых акцент делался на нормативно-аналитическую составляющую (например, BfR, 2019; CODEX, 2021), в настоящем исследовании предпринята попытка связать химическую контаминацию с реальной логистикой пищевого цикла — от этапов переработки до условий хранения и упаковки. Это позволяет рассматривать загрязнение не только как химико-аналитический факт, но и как следствие технологических решений, нормативных компромиссов и инфраструктурных ограничений.

Наконец, выявленные в ходе анализа пробелы (ограниченность географического охвата, фокус на традиционных загрязнителях, отсутствие исследований по кумулятивным эффектам) позволяют сформулировать обоснованные направления дальнейших исследований. К их числу относятся разработка протоколов комплексного анализа сложных матриц, изучение комбинированного токсического действия веществ различной природы, а также расширение географического спектра мониторинга, особенно за счёт включения стран Азии, Ближнего Востока и Латинской Америки, где производство готовой продукции растёт особенно быстро, но система химического контроля часто фрагментирована или недостаточно прозрачна. Новые данные об источниках контаминации, токсичности, кумулятивных эффектах и трансформации исходных соединений, расширение географии исследований позволят унифицировать существующие подходы к категоризации загрязнителей готовой продукции с учётом технологических стадий производства и антропогенной нагрузки в отдельных регионах, что в свою очередь даст возможность разработки более универсальных моделей оценки риска и сопоставления их результатов несмотря на различия нормативных требований в раз-

ных странах. Таким образом, внося вклад в уточнение структуры исследовательского поля, настоящий обзор демонстрирует потенциал предметно ориентированных картографирующих стратегий как инструмента научной ориентации, позволяющего не только фиксировать накопленные знания, но и направлять развитие исследовательской и нормативной повестки в области химической безопасности пищевой продукции.

Ограничения исследования

Во-первых, анализ охватывал преимущественно публикации на русском и английском языках, что может снижать полноту картины в глобальном контексте. Во-вторых, исключение серой литературы, а также отчётов регионального уровня, может ограничивать представление о локальной специфике, особенно для стран с высокой долей неформального производства. В-третьих, как и большинство обзоров предметного поля, данная работа не предусматривала формальной оценки качества источников, что необходимо учитывать при интерпретации результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящий обзор был направлен на картографирование современного состояния знаний о химической контаминации готовой пищевой продукции, с акцентом на типы загрязнителей, стадии их поступления, применяемые аналитические методы и нормативные практики контроля. Включение как академических, так и ведомственных источников позволило сформировать целостное представление о структуре исследовательского поля и выявить ключевые направления его развития.

Результаты обзора указывают на наличие устойчивых исследовательских кластеров, а также на значительные пробелы — как в тематическом охвате, так и в методологических подходах. Обнаруженная фрагментарность данных, особенно в отношении сложных пищевых матриц, кумулятивных эффектов загрязнителей и региональной вариативности нормативов, подчеркивает необходимость дальнейших системных исследований в данном направлении.

Представленная работа не предусматривала количественного синтеза и оценки качества включённых источников, что соответствует методологическим установкам обзора предметного поля и обусловлено

задачей аналитического описания исследовательского ландшафта. Вклад настоящего обзора заключается в структурировании разнородных данных и формулировании перспективных направлений дальнейших исследований в области химической безопасности готовой продукции.

Обобщённые в обзоре результаты могут быть использованы в качестве аналитической основы при планировании эмпирических, нормативных и межведомственных инициатив, направленных на совершенствование механизмов контроля, снижение рисков химической экспозиции и укрепление потребительской безопасности в условиях усложняющихся производственно-логистических цепей.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Ольга Игоревна Лаврухина: концептуализация; методология; написание-рецензирование и редактирование рукописи; визуализация.

Дмитрий Алексеевич Макаров: методология; написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Елизавета Сергеевна Козеичева: сбор данных, подготовка и создание рукописи; ее комментирование.

Татьяна Викторовна Балагула: курирование данных; написание — подготовка черновика рукописи.

Алексей Викторович Третьяков: научное руководство исследованием; подготовка и создание черновика рукописи.

Мария Александровна Гергель: сбор данных; подготовка и создание черновика рукописи.

Евгения Александровна Лозовая: сбор данных; подготовка и создание черновика рукописи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Olga I. Lavrukhina: conceptualization; methodology; manuscript writing; reviewing and editing; visualization.

Dmitry A. Makarov: methodology; manuscript writing, reviewing and editing.

Elizaveta S. Kozeicheva: data collection; manuscript preparation; comments.

Tatiana V. Balagula: data curation; draft manuscript preparation.

Alexey V. Tretyakov: scientific advising; draft manuscript preparation.

Maria A. Gergel: data collection; draft manuscript preparation.

Evgeniya A. Lozovaya: data collection; draft manuscript preparation.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность отделу «Аналитический центр» ФГБУ «ВГНКИ» и Отделу организации проведения лабораторных исследований в сфере ветеринарии Управления государственного ветеринарного надзора Россельхознадзора.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful to the department «Analytical Center» of the FGBI «VGNKI» and the Department of the organization of laboratory research in the field of veterinary medicine, Directorate for Domestic Veterinary Surveillance, Rosselkhoz nadzor.

ЛИТЕРАТУРА

- Амелин, В. Г., Шаока, З. А. Ч., & Большаков, Д. С. (2023). Идентификация и аутентификация сухого коровьего молока с использованием смартфона и хеометрического анализа. *Вестник Московского Университета. Серия 2: Химия*, 64(1), 49–59. <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9384-2-2023-64-1-49-59>
- Амелин, В. Г., Шаока, З. А. Ч., Большаков, Д. С., & Третьяков, А. В. (2023). Идентификация и аутентификация растительных масел методом цифровой цветометрии и хеометрического анализа. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*, 89(2), 5–12. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2023-89-2-1-5-12>
- Амелин, В. Г., Шаока, З. А. Ч., Большаков, Д. С., Третьяков, А. В., Нестеренко, И. С., & Киш, Л. К. (2023). Установление порчи морепродуктов методом цифровой цветометрии индикаторных тест-систем. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*, 89(9), 25–33. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2023-89-9-25-33>

- Балагула, Т. В., Лаврухина, О. И., Батов, И. В., Макаров, Д. А., & Третьяков, А. В. (2023). Антибиотики в ветеринарии: Загрязнение продукции животноводства. *Международный Вестник Ветеринарии*, 4, 174–179. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.4.174>
- Грачев С.А., Третьяков А.В., Амелин В.Г. (2023) Оптимизация условий пробоподготовки при определении общего содержания мышьяка в рыбе и морепродуктах методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*, 89(1), 5–10. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2023-89-1-5-10>
- Зайцева, Н. В., Уланова, Т. С., Карнажицкая, Т. Д., Зорина, А. С., & Пермькова, Т. С. (2018). Определение фталатов в соковой продукции методом высокоэффективной жидкостной хроматографии/масс-спектрометрии. *Вопросы Питания*, 87(6), 117–124. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10073>
- Киш, Л. К., Третьяков, А. В., Лаврухина, О. И., Амелин, В. Г., Гергель, М. А., & Мищенко, Н. В. (2022). Продукты трансформации пестицидов и антибактериальных препаратов в пищевой продукции и продовольственном сырье (аналитический обзор). *Теоретическая и прикладная экология*, 2, 15–25. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-015-025>
- Лаврухина, О. И., Амелин, В. Г., Прохвятилова, Л. Б., & Ручнова, О. И. (2017). Риски загрязнения пищевых продуктов на различных стадиях их производства. *Ветеринария сегодня*, 22(3), 33–39.
- Макаров, Д. А., Козеичева, Е. С., & Хишов, А. С. (2023). Проблема загрязнения антибиотиками продукции растительного происхождения. *Контроль качества продукции*, 6, 36–41.
- Морев, А.А., & Виноградова, О.В. (2019). Определение макро- и микроэлементов в молочных, мясных, рыбных продуктах питания методом атомно-эмиссионной спектроскопии с микроволновой плазмой. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*, 85(3), 14–19. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2019-85-3-14-19>
- Чернова, А. В., & Петроченкова, А. В. (2023). Регламентирование содержания контаминанта акриламида в пищевой продукции. *Научные труды Дальрыбвтуза*, 63(1), 20–27.
- Abraham, A., & Rambla-Alegre, M. (2017). Marine toxins analysis for consumer protection. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 78, 343–378. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2017.07.004>
- Adebo, O. A., Kayitesi, E., Adebiyi, J. A., Gbashi, S., Temba, M. C., Lasekan, A., Phoku, J. Z., & Njobeh, P. B. (2017). Mitigation of acrylamide in foods: An African perspective. In B. S. R. Reddy (Ed.), *Acrylic polymers in healthcare*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.68982>
- Alamri, M. S., Qasem, A. A. A., Mohamed, A. A., Hussain, S., Ibraheem, M. A., Shamlan, G., Alqah, H. A., & Qasha, A. S. (2021). Food packaging's materials: A food safety perspective. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(8), 4490–4499. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.04.047>
- Albaseer, S. S. (2019). Factors controlling the fate of pyrethroids residues during post-harvest processing of raw agricultural crops: An overview. *Food Chemistry*, 295, 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.109>
- Amelin, V. G., Emelyanov, O. E., Tretyakov, A. V., & Kish, L. K. (2024). Identification and detection of adulterated butter by colorimetry and Near-IR-Spectroscopy. *Journal of Applied Spectroscopy*, 91(4), 826–834. <https://doi.org/10.1007/s10812-024-01790-0>
- Amelin, V. G., Korotkov, A. G., & Andoralov, A. M. (2016). Identification and determination of 492 contaminants of different classes in food and feed by high-resolution mass spectrometry using the standard addition method. *Journal of AOAC International*, 99(6), 1600–1618. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.16-0069>
- Amelin, V. G., Lavrukina O. I. (2017) Food safety assurance using methods of chemical analysis. *Journal of Analytical Chemistry*, 72(1), 1–46. <https://doi.org/10.1134/S1061934817010038>
- Amelin, V. G., Shogah, Z. A. Ch., & Tretyakov, A. V. (2024). Analyzing dairy products: Measuring milk fat mass fraction and detecting adulteration using the PhotoMetrix Pro® Smartphone App. *Journal of Analytical Chemistry*, 79(1), 50–56. <https://doi.org/10.1134/S1061934824010039>
- Amyot, M., Husser, E., St-Fort, K., & Ponton, D. E. (2023). Effect of cooking temperature on metal concentrations and speciation in fish muscle and seal liver. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115184>
- Artiaga, G., Ramos, K., Ramos, L., Cámara, C., & Gómez-Gómez, M. (2015). Migration and characterisation of nanosilver from food containers by AF4-ICP-MS. *Food Chemistry*, 166, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.139>

- Baesu, A., & Bayen, S. (2022). Application of nontarget analysis and high-resolution mass spectrometry for the identification of thermal transformation products of oxytetracycline in Pacific White shrimp. *Journal of Food Protection*, 85(10), 1469–1478. <https://doi.org/10.4315/JFP-22-128>
- Bai, M., Tang, R., Li, G., She, W., Chen, G., Shen, H., Zhu, S., Zhang, H., & Wu, H. (2022). High-throughput screening of 756 chemical contaminants in aquaculture products using liquid chromatography/quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Food Chemistry: X*, 15, 100380. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100380>
- Bianco, M., Calvano, C. D., Ventura, G., Losito, I., & Cataldi, T. R. I. (2022). Determination of hidden milk allergens in meat-based foodstuffs by liquid chromatography coupled to electrospray ionization and high-resolution tandem mass spectrometry. *Food Control*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108443>
- Bolshakov, D. S., & Amelin, V. G. (2023). Capillary electrophoresis in assessing the quality and safety of foods. *Journal of Analytical Chemistry*, 78(7), 815–855. <https://doi.org/10.1134/S106193482307002X>
- Brown, K., Blake, R. S., & Dennany, L. (2022). Electrochemiluminescence within veterinary Science: A review. *Bioelectrochemistry*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2022.108156>
- Buculei, A., Amariei, S., Oroian, M., Gutt, G., Gaceu, L., & Birca, A. (2014). Metals migration between product and metallic package in canned meat. *LWT — Food Science and Technology*, 58(2), 364–374. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.003>
- Bumbudsanpharoke, N., & Ko, S. (2015). Nano-food packaging: An overview of market, migration research, and safety regulations. *Journal of Food Science*, 80(5), R910–R923. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12861>
- Cao, H., Wang, Z., Meng, J., Du, M., Pan, Y., Zhao, Y., & Liu, H. (2022). Determination of arsenic in Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*): Effects of cooking and gastrointestinal digestion on food safety. *Food Chemistry*, 393, 133345. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133345>
- Capita, R., & Alonso-Calleja, C. (2013). Antibiotic-resistant bacteria: A challenge for the food industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(1), 11–48. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.519837>
- Carballo, D., Moltó, J. C., Berrada, H., & Ferrer, E. (2018). Presence of mycotoxins in ready-to-eat food and subsequent risk assessment. *Food and Chemical Toxicology*, 121, 558–565. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.09.054>
- CEF. (2015). Scientific opinion on the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs. *EFSA Journal*, 13(1), 3978. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.3978>
- Cheyns, K., Waegeneers, N., Van de Wiele, T., & Ruttens, A. (2017). Arsenic release from foodstuffs upon food preparation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(11), 2443–2453. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05721>
- Constantinou, M., Louca-Christodoulou, D., & Agapiou, A. (2021). Method validation for the determination of 314 pesticide residues using tandem MS systems (GC–MS/MS and LC–MS/MS) in raisins: Focus on risk exposure assessment and respective processing factors in real samples (a pilot survey). *Food Chemistry*, 360. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129964>
- CONTAM. (2016a). Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *EFSA Journal*, 14(6). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4501>
- CONTAM. (2016b). Risks for human health related to the presence of 3- and 2-monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food. *EFSA Journal*, 14(5), 4426. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4426>
- Crews, C., Chiodini, A., Granvogl, M., Hamlet, C., Hrnčič, K., Kuhlmann, J., Lampen, A., Scholz, G., Weisshaar, R., Wenzl, T., Jasti, P. R., & Seefelder, W. (2013). Analytical approaches for MCPD esters and glycidyl esters in food and biological samples: a review and future perspectives. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 30(1), 11–45. <https://doi.org/10.1080/19440049.2012.720385>
- Cuadrado, C., Sanchiz, A., Arribas, C., Pedrosa, M. M., Gamboa, P., Betancor, D., Blanco, C., Cabanillas, B., & Linacero, R. (2023). Mitigation of peanut allergenic reactivity by combined processing: Pressured heating and enzymatic hydrolysis. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103383>
- Cunningham, B. E., Sharpe, E. E., Brander, S. M., Landis, W. G., & Harper, S. L. (2023). Critical gaps in nanoplastics research and their connection to risk assessment. *Frontiers in Toxicology*, 5, 1154538. <https://doi.org/10.3389/ftox.2023.1154538>

- Custodio-Mendoza, J. A., Sendón, R., de Quirós, A. R.-B., Lorenzo, R. A., & Carro, A. M. (2023). Development of a QuEChERS method for simultaneous analysis of 3-Monochloropropane-1,2-diol monoesters and Glycidyl esters in edible oils and margarine by LC-APCI-MS/MS. *Analytica Chimica Acta*, 1239, 340712. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2022.340712>
- Darwish, W. S., Chiba, H., El-Ghareeb, W. R., Elhelaly, A. E., & Hui, S. P. (2019). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbon content in heat-treated meat retailed in Egypt: Health risk assessment, benzo[a]pyrene induced mutagenicity and oxidative stress in human colon (CaCo-2) cells and protection using rosmarinic and ascorbic acids. *Food Chemistry*, 290, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.127>
- Deng, S., Bai, X., Li, Y., Wang, B., Kong, B., Liu, Q., & Xia, X. (2021). Changes in moisture, colour, residual nitrites and N-nitrosamine accumulation of bacon induced by nitrite levels and dry-frying temperatures. *Meat Science*, 181, 108604. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108604>
- Di Bella, G., Potorti, A. G., Lo Turco, V., Saitta, M., & Dugo, G. (2014). Plasticizer residues by HRGC-MS in espresso coffees from capsules, pods and moka pots. *Food Control*, 41, 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.01.026>
- Dias, C., Costa, J., Mafra, I., Fernandes, D., Brandão, A. T. S. C., Silva, A. F., Pereira, C. M., & Costa, R. (2024). Electrochemical immunosensor for point-of-care detection of soybean Gly m TI allergen in foods. *Talanta*, 268, 125284. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2023.125284>
- Ding, T., & Li, Y. (2024). Biogenic amines are important indices for characterizing the freshness and hygienic quality of aquatic products: A review. *LWT*, 194, 115793. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115793>
- Djordjevic, T., & Djurovic-Pejcev, R. (2016). Food processing as a means for pesticide residue dissipation. *Pesticidi i Fitomedicina*, 31(3–4), 89–105. <https://doi.org/10.2298/pif1604089d>
- Dong, X., & Raghavan, V. (2022). Recent advances of selected novel processing techniques on shrimp allergenicity: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 124, 334–344. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.024>
- Drewnowska, M., Sapór, A., Jarzyńska, G., Nnorom, I. C., Sajwan, K. S., & Falandysz, J. (2012). Mercury in Russula mushrooms: Bioconcentration by Yellow-ocher Brittle Gills Russula ochroleuca. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 47(11), 1577–1591. <https://doi.org/10.1080/10934529.2012.680420>
- Duedahl-Olesen, L., Wilde, A. S., Dagnæs-Hansen, M. P., Mikkelsen, A., Olesen, P. T., & Granby, K. (2022). Acrylamide in commercial table olives and the effect of domestic cooking. *Food Control*, 132, 108515. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108515>
- Dykes, G. A., Coorey, R., Ravensdale, J. T., & Sarjit, A. (2019). Phosphates. In L. Melton, F. Shahidi, & P. Varelis (Eds.), *Encyclopedia of food chemistry* (pp. 218–224). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21583-7>
- Edna Hee, P. T., Liang, Z., Zhang, P., & Fang, Z. (2024). Formation mechanisms, detection methods and mitigation strategies of acrylamide, polycyclic aromatic hydrocarbons and heterocyclic amines in food products. *Food Control*, 158, 110236. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110236>
- El Qacemi, M., Rendine, S., & Maienfisch, P. (2018). Recent applications of fluorine in crop protection-new discoveries originating from the unique heptafluoroisopropyl group. In G. Haufe & F. R. Leroux (Eds.), *Fluorine in life sciences: Pharmaceuticals, medicinal diagnostics, and agrochemicals progress in fluorine science series* (pp. 607–629). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812733-9.00017-9>
- El-Saber Batiha, G., Hussein, D. E., Algammal, A. M., George, T. T., Jeandet, P., Al-Snafi, A. E., Tiwari, A., Pagnossa, J. P., Lima, C. M., Thorat, N. D., Zahoor, M., El-Esawi, M., Dey, A., Alghamdi, S., Hetta, H. F., & Cruz-Martins, N. (2021). Application of natural antimicrobials in food preservation: Recent views. *Food Control*, 126, 108066. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108066>
- Eymar, E., Garcia-Delgado, C., & Esteban, R. M. (2016). Food Poisoning: Classification. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 56–66). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00317-2>
- Fan, M., Xu, X., Lang, W., Wang, W., Wang, X., Xin, A., Zhou, F., Ding, Z., Ye, X., & Zhu, B. (2023). Toxicity, formation, contamination, determination and mitigation of acrylamide in thermally processed plant-based foods and herbal medicines: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115059>
- FAO. (2017). Food safety risk management. Evidence-informed policies and decisions, considering multiple factors. 4 — *Food safety and quality series*. FAO.

- FAO/WHO. (2013). *Public health risks of histamine and other biogenic amines from fish and fishery products*. FAO.
- FAO/WHO. (2024). *Report 2023: Pesticide residues in food — Joint FAO/WHO meeting on pesticide residues*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc9755en>
- Fong, F. L. Y., El-Nezami, H., & Sze, E. T. P. (2021). Biogenic amines — Precursors of carcinogens in traditional Chinese fermented food. *NFS Journal*, 23, 52–57. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2021.04.002>
- Fujii, Y., Harada, K. H., Nakamura, T., Kato, Y., Ohta, C., Koga, N., Kimura, O., Endo, T., Koizumi, A., & Haraguchi, K. (2020). Perfluorinated carboxylic acids in edible clams: A possible exposure source of perfluorooctanoic acid for Japanese population. *Environmental Pollution*, 263, 114369. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114369>
- Gajda, A., Bladek, T., Gbylik-Sikorska, M., & Posyniak, A. (2017). The influence of cooking procedures on doxycycline concentration in contaminated eggs. *Food Chemistry*, 221, 1666–1670. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.121>
- Gallardo-Ramos, J. A., Marín-Sáez, J., Sanchis, V., Gámiz-Gracia, L., García-Campaña, A. M., Hernández-Mesa, M., & Cano-Sancho, G. (2024). Simultaneous detection of mycotoxins and pesticides in human urine samples: A 24-h diet intervention study comparing conventional and organic diets in Spain. *Food and Chemical Toxicology*, 188, 114650. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2024.114650>
- Ganjeh, A. M., Moreira, N., Pinto, C. A., Casal, S., & Saraiva, J. A. (2024). The effects of high-pressure processing on biogenic amines in food: A review. *Food and Humanity*, 2, 100252. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100252>
- Ghahremani, M.-H., Ghazi-Khansari, M., Farsi, Z., Yazdanfar, N., Jahanbakhsh, M., & Sadighara, P. (2024). Bisphenol A in dairy products, amount, potential risks, and the various analytical methods, a systematic review. *Food Chemistry: X*, 21, 101142. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101142>
- Gmshinski, I. V., Shipelin, V. A., Kolobanov, A. I., Sokolov, I. E., Maisaya, K. Z., & Khotimchenko, S. A. (2023). Methods for the identification and quantification of microplastics in foods (A review). *Problems of Nutrition*, 92(5), 87–102. <https://doi.org/10.33029/0042–8833-2023–92–5–87–102>
- Goh, K. M., Wong, Y. H., Tan, C. P., & Nyam, K. L. (2021). A summary of 2-, 3-MCPD esters and glycidyl ester occurrence during frying and baking processes. *Current Research in Food Science*, 4, 460–469. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.07.002>
- Gorecki, S., Bemrah, N., Roudot, A.-C., Marchioni, E., Le Bizec, B., Faivre, F., Kadawathagedara, M., Botton, J., & Rivière, G. (2017). Human health risks related to the consumption of foodstuffs of animal origin contaminated by bisphenol A. *Food and Chemical Toxicology*, 110, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.10.045>
- Grusie, T., Cowan, V., Singh, J., McKinnon, J., & Blakley, B. (2018). Proportions of predominant Ergot alkaloids (*Claviceps purpurea*) detected in Western Canadian grains from 2014 to 2016. *World Mycotoxin Journal*, 11(2), 259–264. <https://doi.org/10.3920/WMJ2017.2241>
- Haque, M. A., Wang, Y., Shen, Z., Li, X., Saleemi, M. K., & He, C. (2020). Mycotoxin contamination and control strategy in human, domestic animal and poultry: A review. *Microbial Pathogenesis*, 142, 104095. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104095>
- Hassoun, A., Pasti, L., Chenet, T., Rusanova, P., Smaoui, S., Ait-Kaddour, A., & Bono, G. (2023). Detection methods of micro and nanoplastics. In F. Özogul (Ed.), *Advances in food and nutrition research* (vol. 103, pp. 175–227). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2022.08.002>
- Heo, D.-G., Lee, D.-C., Kwon, Y.-M., Seol, M.-J., Moon, J. S., Chung, S. M., & Kim, J.-H. (2022). Simultaneous determination of perfluorooctanoic acid and perfluorooctanesulfonic acid in Korean sera using LC-MS/MS. *Journal of Chromatography B*, 1192, 123138. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2022.123138>
- Hernandez-Ledesma, B., & Herrero, M. (Eds.). (2013). *Bioactive Compounds from Marine Foods: Plant and Animal Sources*. Wiley-Blackwell.
- Huang, J. Y., Li, X., & Zhou, W. (2015). Safety assessment of nanocomposite for food packaging application. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 187–199. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.002>
- Huang, M., & Penning, T. M. (2014). Processing Contaminants: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). In Y. Motarjemi (Ed.), *Encyclopedia of food safety* (vol. 2, pp. 416–423). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378612-8.00212-2>

- Huang, Z., Qu, Y., Hua, X., Wang, F., Jia, X., & Yin, L. (2023). Recent advances in soybean protein processing technologies: A review of preparation, alterations in the conformational and functional properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 248, 125862. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125862>
- Iqbal, S. Z., Rabbani, T., Asi, M. R., & Jinap, S. (2014). Assessment of aflatoxins, ochratoxin A and zearalenone in breakfast cereals. *Food Chemistry*, 157, 257–262. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.129>
- Izzo, L., Narváez, A., Castaldo, L., Gaspari, A., Rodríguez-Carrasco, Y., Grosso, M., & Ritieni, A. (2022). Multiclass and multi-residue screening of mycotoxins, pharmacologically active substances, and pesticides in infant milk formulas through ultra-high-performance liquid chromatography coupled with high-resolution mass spectrometry analysis. *Journal of Dairy Science*, 105(4), 2948–2962. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21123>
- Izzo, L., Rodríguez-Carrasco, Y., Tolosa, J., Graziani, G., Gaspari, A., & Ritieni, A. (2020). Target analysis and retrospective screening of mycotoxins and pharmacologically active substances in milk using an ultra-high-performance liquid chromatography/high-resolution mass spectrometry approach. *Journal of Dairy Science*, 103(2), 1250–1260. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17277>
- Jia, Q., Liao, G., Chen, L., Qian, Y., Yan, X., & Qiu, J. (2024). Pesticide residues in animal-derived food: Current state and perspectives. *Food Chemistry*, 438, 137974. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137974>
- Jooste, P. J., Anelich, L., & Motarjemi, Y. (2014). Safety of food and beverages: Milk and dairy products. In Y. Motarjemi (Ed.), *Encyclopedia of food safety* (vol. 3, pp. 285–296). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378612-8.00286-9>
- Kobun, R. (Ed.). (2021). Biosensor technology to detect chemical contamination in food. In *Advanced food analysis tools* (pp. 127–146). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820591-4.00007-4>
- Kohli, G. S., Papiol, G. G., Rhodes, L. L., Harwood, D. T., Selwood, A., Jerrett, A., Murray, S. A., & Neilan, B. A. (2014). A feeding study to probe the uptake of Maitotoxin by snapper (*Pagrus auratus*). *Harmful Algae*, 37, 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2014.05.018>
- Kovalchuk, Y., Podurets, A., Osmolovskaya, O., Nugbienyo, L., & Bulatov, A. (2024). Layered double hydroxide nanoparticles for a smartphone digital image colorimetry-based determination of fluoride ions in water, milk and dental products. *Food Chemistry*, 438, 137999. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137999>
- Kumar, N., Singh, A., Sharma, D. K., & Kishore, K. (2019). Toxicity of food additives. In R. L. Singh & S. Mondal (Eds.), *Food safety and human health* (pp. 67–98). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816333-7.00003-5>
- Kuswandi, B., Futra, D., & Heng, L. Y. (2017). Nanosensors for the Detection of Food Contaminants. In A. E. Oprea & A. M. Grumezescu (Eds.), *Nanotechnology applications in food: Flavor, stability, nutrition and safety* (pp. 307–333). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811942-6.00015-7>
- Lambré, C., Barat Baviera, J. M., Bolognesi, C., Chesson, A., Cocconcelli, P. S., Crebelli, R., Gott, D. M., Grob, K., Lampi, E., Mengelers, M., Mortensen, A., Rivière, G., Silano (until December †), V., Steffensen, I., Tlustos, C., Vernis, L., Zorn, H., Batke, M., Bignami, M., & Corsini, E. (2023). Re-evaluation of the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs. *EFSA Journal*, 21(4). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.6857>
- Leal, J. F., & Cristiano, M. L. S. (2022). Marine paralytic shellfish toxins: Chemical properties, mode of action, newer analogues, and structure-toxicity relationship. *Natural Product Reports*, 39(1), 33–57. <https://doi.org/10.1039/d1np00009h>
- Lee, J.-G., Kim, S.-Y., Moon, J.-S., Kim, S.-H., Kang, D.-H., & Yoon, H.-J. (2016). Effects of grilling procedures on levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meats. *Food Chemistry*, 199, 632–638. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.017>
- Leigh, J., & MacMahon, S. (2017). Occurrence of 3-monochloropropanediol esters and glycidyl esters in commercial infant formulas in the United States. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 34(3), 356–370. <https://doi.org/10.1080/19440049.2016.1276304>
- Li, J., Chen, S., Li, H., Liu, X., Cheng, J., & Ma, L. Q. (2021). Arsenic bioaccessibility in rice grains via modified physiologically-based extraction test (MPBET): Correlation with mineral elements and comparison with As relative bioavailability. *Environmental Research*, 198, 111198. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111198>
- Li, T., Li, J., Wang, J., Xue, K. S., Su, X., Qu, H., Duan, X., & Jiang, Y. (2024). The occurrence and management of fumonisin contamination across the food production and supply chains. *Journal of Advanced Research*, 60, 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2023.08.001>

- Lin, Q.-B., Li, H., Zhong, H.-N., Zhao, Q., Xiao, D.-H., & Wang, Z.-W. (2014). Migration of Ti from nano-TiO₂-polyethylene composite packaging into food simulants. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 1–7. <https://doi.org/10.1080/19440049.2014.907505>
- Ling, M.-P., Wu, C.-H., Chen, S.-C., Chen, W.-Y., Chio, C.-P., Cheng, Y.-H., & Liao, C.-M. (2014). Probabilistic framework for assessing the arsenic exposure risk from cooked fish consumption. *Environmental Geochemistry and Health*, 36(6), 1115–1128. <https://doi.org/10.1007/s10653-014-9621-8>
- Liu, Y., Huang, Y., Li, L., Xiong, Y., Tong, L., Wang, F., Fan, B., & Gong, J. (2023). Effect of different agricultural conditions, practices, and processing on levels of total arsenic and species in cereals and vegetables: A review. *Food Control*, 152, 109876. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109876>
- Lo Turco, V., Di Bella, G., Potortì, A. G., Fede, M. R., & Dugo, G. (2015). Determination of plasticizer residues in tea by solid phase extraction–gas chromatography–mass spectrometry. *European Food Research and Technology*, 240(2), 451–458. <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2344-3>
- Luo, Q., Liu, Z., Yin, H., Dang, Z., Wu, P., Zhu, N., Lin, Z., & Liu, Y. (2018). Migration and potential risk of trace phthalates in bottled water: A global situation. *Water Research*, 147, 362–372. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.002>
- Mahato, D. K., Kamle, M., Sharma, B., Pandhi, S., Devi, S., Dhawan, K., Selvakumar, R., Mishra, D., Kumar, A., Arora, S., Singh, N. A., & Kumar, P. (2021). Patulin in food: A mycotoxin concern for human health and its management strategies. *Toxicon*, 198, 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2021.04.027>
- Manav, Ö. G., Dinç-Zor, Ş., & Alpdoğan, G. (2019). Optimization of a modified QuEChERS method by means of experimental design for multiresidue determination of pesticides in milk and dairy products by GC–MS. *Microchemical Journal*, 144, 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.08.056>
- Manimekalai, M., Rawson, A., Sengar, A. S., & Kumar, K. S. (2019). Development, optimization, and validation of methods for quantification of veterinary drug residues in complex food matrices using liquid-chromatography — A review. *Food Analytical Methods*, 12(8), 1823–1837. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01512-9>
- Martín-Gómez, B., Stephen Elmore, J., Valverde, S., Ares, A. M., & Bernal, J. (2024). Recent applications of chromatography for determining microplastics and related compounds (bisphenols and phthalate esters) in food. *Microchemical Journal*, 197, 109903. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2024.109903>
- Mihindukulasuriya, S. D. F., & Lim, L. T. (2014). Nanotechnology development in food packaging: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 40(2), 149–167. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.09.009>
- Molina-Garcia, L., Santos, C. S. P., Melo, A., Fernandes, J. O., Cunha, S. C., & Casal, S. (2015). Acrylamide in chips and french fries: A novel and simple method using xanthidrol for its GC-MS determination. *Food Analytical Methods*, 8(6), 1436–1445. <https://doi.org/10.1007/s12161-014-0014-5>
- Morya, S., Amoah, A. E. D. D., & Snaebjornsson, S. O. (2020). Food poisoning hazards and their consequences over food safety. In P. Chowdhary, A. Raj, D. Verma, & Y. Akhter (Eds.), *Microorganisms for sustainable environment and health* (pp. 383–400). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819001-2.00019-X>
- Muaz, K., Riaz, M., Akhtar, S., Park, S., & Ismail, A. (2018). Antibiotic residues in chicken meat: Global prevalence, threats, and decontamination strategies: A review. *Journal of Food Protection*, 81(4), 619–627. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-17-086>
- Mühlemann, M. (2014). Safety of food and beverages: Dairy products: Cheese. In Y. Motarjemi (Ed.), *Encyclopedia of Food Safety* (Vol. 3, pp. 297–308). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378612-8.00415-7>
- Myrtsi, E. D., Koulocheri, S. D., & Haroutounian, S. A. (2023). A novel method for the efficient simultaneous quantification of 67 phytoestrogens in plants and foodstuffs. *Food Bioscience*, 56, 103357. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103357>
- Nerín, C., Aznar, M., & Carrizo, D. (2016). Food contamination during food process. *Trends in Food Science and Technology*, 48, 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.004>
- Ni, M., Li, X., Zhang, L., Kumar, V., & Chen, J. (2022). Bibliometric analysis of the toxicity of Bisphenol A. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13), 7886. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137886>
- Nyman, P. J., Limm, W., Begley, T. H., & Chirtel, S. J. (2014). Single-laboratory validation of a method for the determination of select volatile organic compounds in foods by using vacuum distillation

- with gas chromatography/mass spectrometry. *Journal of AOAC International*, 97(2), 510–520. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.13-294>
- Özogul, F., & Hamed, I. (2018). Marine-based toxins and their health risk. In I. M. Holban & A. M. Grumezescu (Eds.), *Handbook of food bioengineering, Food quality: Balancing health and disease* (vol. 13, pp. 109–144). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811442-1.00003-1>
- Park, J., Yang, K.-A., Choi, Y., & Choe, J. K. (2022). Novel ssDNA aptamer-based fluorescence sensor for perfluorooctanoic acid detection in water. *Environment International*, 158, 107000. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.107000>
- Pasias, I. N., Raptopoulou, K. G., & Proestos, C. (2018). Migration from metal packaging into food. *Reference module in food science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.22528-6>
- Passos, C. P., Ferreira, S. S., Serôdio, A., Basil, E., Marková, L., Kukurová, K., Ciesarová, Z., & Coimbra, M. A. (2018). Pectic polysaccharides as an acrylamide mitigation strategy – Competition between reducing sugars and sugar acids. *Food Hydrocolloids*, 81, 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.032>
- Perrone, G., Rodriguez, A., Magistà, D., & Magan, N. (2019). Insights into existing and future fungal and mycotoxin contamination of cured meats. *Current Opinion in Food Science*, 29, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.06.012>
- Perugini, M., Zezza, D., Tulini, S. M. R., Abete, M. C., Monaco, G., Conte, A., Olivieri, V., & Amorena, M. (2016). Effect of cooking on total mercury content in Norway lobster and European hake and public health impact. *Marine Pollution Bulletin*, 109(1), 521–525. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.010>
- Peters, R. J. B., Rivera, Z. H., van Bommel, G., Marvin, H. J. P., Weigel, S., & Bouwmeester, H. (2014). Development and validation of single particle ICP-MS for sizing and quantitative determination of nano-silver in chicken meat. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1007/s00216-013-7571-0>
- Peters, R. J. B., van Bommel, G., Herrera-Rivera, Z., Helsper, H. P. F. G., Marvin, H. J. P., Weigel, S., Tromp, P. C., Oomen, A. G., Rietveld, A. G., & Bouwmeester, H. (2014). Characterization of titanium dioxide nanoparticles in food products: Analytical methods to define nanoparticles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(27), 6285–6293. <https://doi.org/10.1021/jf5011885>
- Pilolli, R., Van Poucke, C., De Angelis, E., Nitride, C., de Loose, M., Gillard, N., Huet, A. C., Tranquet, O., Larré, C., Adel-Patient, K., Bernard, H., Mills, E. N. C., & Monaci, L. (2021). Discovery based high resolution MS/MS analysis for selection of allergen markers in chocolate and broth powder matrices. *Food Chemistry*, 343, 128533. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128533>
- Planche, C., Ratel, J., Blinet, P., Mercier, F., Angénieux, M., Chafey, C., Zinck, J., Marchond, N., Chevolleau, S., Marchand, P., Dervilly-Pinel, G., Guérin, T., Debrauwer, L., & Engel, E. (2017). Effects of pan cooking on micropollutants in meat. *Food Chemistry*, 232, 395–404. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.049>
- Planque, M., Arnould, T., Dieu, M., Delahaut, P., Renard, P., & Gillard, N. (2016). Advances in ultra-high performance liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry for sensitive detection of several food allergens in complex and processed foodstuffs. *Journal of Chromatography A*, 1464, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2016.08.033>
- Poissant, R., Mariotti, F., Zalko, D., & Membré, J. M. (2023). Ranking food products based on estimating and combining their microbiological, chemical and nutritional risks: Method and application to Ready-To-Eat dishes sold in France. *Food Research International*, 169, 112939. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112939>
- Pudel, F., Benecke, P., Fehling, P., Anne Sigrig Freudenstein, Bertrand Matthäus, & Schwaf, A. (2011). On the necessity of edible oil refining and possible sources of 3-MCPD and glycidyl esters. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113(3), 368–373. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201000460>
- Ramos, F., Santos, L., & Barbosa, J. (2017). Nitrofurant veterinary drug residues in chicken eggs. In P. Y. Hester (Ed.), *Egg innovations and strategies for improvements* (pp. 457–464). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800879-9.00043-3>
- Rana, M. S., Lee, S. Y., Kang, H. J., & Hur, S. J. (2019). Reducing veterinary drug residues in animal products: A review. *Food Science of Animal Resources*, 39(5), 687–703. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e65>

- Rodriguez-Saona, L., Aykas, D. P., Borba, K. R., & Urtubia, A. (2020). Miniaturization of optical sensors and their potential for high-throughput screening of foods. *Current Opinion in Food Science*, 31, 136–150. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.04.008>
- Saha Turna, N., Chung, R., & McIntyre, L. (2024). A review of biogenic amines in fermented foods: Occurrence and health effects. *Heliyon*, 10(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24501>
- Sanchis, Y., Yusà, V., & Coscollà, C. (2017). Analytical strategies for organic food packaging contaminants. In *Journal of Chromatography A* (vol. 1490, pp. 22–46). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2017.01.076>
- Santonicola, S., Ferrante, M. C., Di Leo, G., Murru, N., Anastasio, A., & Mercogliano, R. (2018). Study on endocrine disruptors levels in raw milk from cow's farms: Risk assessment. *Italian Journal of Food Safety*, 7(3), 7668. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2018.7668>
- Schilberg, R. N., Wei, S., Twagirayezu, S., & Neill, J. L. (2021). Conformational dynamics of perfluorooctanoic acid (PFOA) studied by molecular rotational resonance (MRR) spectroscopy. *Chemical Physics Letters*, 778, 138789. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2021.138789>
- Shruti, V. C., & Kutralam-Muniasamy, G. (2024). Migration testing of microplastics in plastic food-contact materials: Release, characterization, pollution level, and influencing factors. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 170, 117421. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117421>
- Sin, J. E. V., Shen, P., Teo, G. S., Neo, L. P., Huang, L., Chua, P., Tan, M. W., Wu, Y., Li, A., Er, J. C., & Chan, S. H. (2023). Surveillance of veterinary drug residues in food commonly consumed in Singapore and assessment of dietary exposure. *Heliyon*, 9(11), e21160. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21160>
- Singh, G., Stephan, C., Westerhoff, P., Carlander, D., & Duncan, T. V. (2014). Measurement Methods to Detect, Characterize, and Quantify Engineered Nanomaterials in Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 693–704. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12078>
- Singh, L., Agarwal, T., & Simal-Gandara, J. (2023). Summarizing minimization of polycyclic aromatic hydrocarbons in thermally processed foods by different strategies. *Food Control*, 146, 109514. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109514>
- Singh, L., Varshney, J. G., & Agarwal, T. (2016). Polycyclic aromatic hydrocarbons' formation and occurrence in processed food. *Food Chemistry*, 199, 768–781. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.074>
- Smith, D. J., & Kim, M. K. (2017). Chemical Contamination of Red Meat. In D. Schrenk & A. Cartus (Eds.), *Chemical contaminants and residues in food* (2nd ed., pp. 451–489). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100674-0.00018-7>
- Sohail, M., Urooj, Z., Noreen, S., Baig, M. M. F. A., Zhang, X., & Li, B. (2023). Micro- and nanoplastics: Contamination routes of food products and critical interpretation of detection strategies. *Science of The Total Environment*, 891, 164596. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164596>
- Soliño, L., & Costa, P. R. (2018). Differential toxin profiles of ciguatoxins in marine organisms: Chemistry, fate and global distribution. In *Toxicon* (vol. 150, pp. 124–143). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2018.05.005>
- Song, X., Li, R., Li, H., Hu, Z., Mustapha, A., & Lin, M. (2014). Characterization and Quantification of Zinc Oxide and Titanium Dioxide Nanoparticles in Foods. *Food and Bioprocess Technology*, 7(2), 456–462. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1071-2>
- Stadler, R. H. (2019). Introduction to the volume: Food adulteration & contamination. In L. Melton, F. Shahidi, & P. Varelis (Eds.), *Encyclopedia of food chemistry* (pp. 317–319). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21783-6>
- Stadler, R. H., & Theurillat, V. (2017). Heat-Generated Toxicants in foods (acrylamide, MCPD esters, glycidyl esters, furan, and related compounds). In D. Schrenk & A. Cartus (Eds.), *Chemical contaminants and residues in food* (2nd ed., pp. 171–195). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100674-0.00008-4>
- Stegelmeier, B. L., Colegate, S. M., & Brown, A. W. (2016). Dehydropyrrolizidine alkaloid toxicity, cytotoxicity, and carcinogenicity. *Toxins*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/toxins8120356>
- Stella, R., Sette, G., Moressa, A., Gallina, A., Aloisi, A. M., Angeletti, R., & Biancotto, G. (2020). LC-HRMS/MS for the simultaneous determination of four allergens in fish and swine food products. *Food Chemistry*, 331. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127276>

- Sun, X., Wang, R., Li, L., Wang, X., & Ji, W. (2021). Online extraction based on ionic covalent organic framework for sensitive determination of trace per- and polyfluorinated alkyl substances in seafoods by UHPLC-MS/MS. *Food Chemistry*, 362. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130214>
- Thakali, A., & MacRae, J. D. (2021). A review of chemical and microbial contamination in food: What are the threats to a circular food system? In *Environmental Research* (vol. 194). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110635>
- Thanushree, M. P., Sailendri, D., Yoha, K. S., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2019). Mycotoxin contamination in food: An exposition on spices. *Trends in Food Science and Technology*, 93, 69–80. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.010>
- Theurillat, X., Mujahid, C., Eriksen, B., Griffin, A., Savage, A., Delatour, T., & Mottier, P. (2023). An LC-MS/MS method for the quantitative determination of 57 per- and polyfluoroalkyl substances at ng/kg levels in different food matrices. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 40(7), 862–877. <https://doi.org/10.1080/19440049.2023.2226771>
- Thomsen, S. T., Assunção, R., Afonso, C., Boué, G., Cardoso, C., Cubadda, F., Garre, A., Kruisselbrink, J. W., Mantovani, A., Pitter, J. G., Poulsen, M., Verhagen, H., Ververis, E., Voet, H. van der, Watzl, B., & Pires, S. M. (2022). Human health risk–benefit assessment of fish and other seafood: a scoping review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(27), 7479–7502. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1915240>
- Tian, L., & Bayen, S. (2018). Thermal degradation of chloramphenicol in model solutions, spiked tissues and incurred samples. *Food Chemistry*, 248, 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.043>
- Tolosa, J., Rodríguez-Carrasco, Y., Ruiz, M. J., & Vila-Donat, P. (2021). Multi-mycotoxin occurrence in feed, metabolism and carry-over to animal-derived food products: A review. *Food and Chemical Toxicology*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112661>
- Torre, R., Freitas, M., Costa-Rama, E., Nouws, H. P. A., & Delerue-Matos, C. (2022). Food allergen control: Tropomyosin analysis through electrochemical immunosensing. *Food Chemistry*, 396. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133659>
- Ulanova, T. S., Karnazhitskaya, T. D., Zelenkin, S. E., & Zorina, A. S. (2021). Phthalate analysis in foods for young children using LC-MS method. *Problems of Nutrition*, 90(2), 128–137. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-2-128-137>
- Upadhyay, M. K., Shukla, A., Yadav, P., & Srivastava, S. (2019). A review of arsenic in crops, vegetables, animals and food products. *Food Chemistry*, 276, 608–618. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.069>
- Van der Fels-Klerx, H. J., Van Asselt, E. D., Raley, M., Poulsen, M., Korsgaard, H., Bredsdorff, L., Nauta, M., D'agostino, M., Coles, D., Marvin, H. J. P., & Frewer, L. J. (2018). Critical review of methods for risk ranking of food-related hazards, based on risks for human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(2), 178–193. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1141165>
- Vidaček, S. (2013). Seafood. In *Food safety management: A practical guide for the food industry* (pp. 189–212). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381504-0.00008-1>
- Vitali, C., Peters, R. J. B., Janssen, H. G., & Nielen, M. W. F. (2023). Microplastics and nanoplastics in food, water, and beverages; part I. occurrence. *TrAC — Trends in Analytical Chemistry*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2022.116670>
- Vitali, C., Peters, R. J. B., Janssen, H.-G., Nielen, M. W. F., & Ruggeri, F. S. (2022). Microplastics and nanoplastics in food, water, and beverages, part II. Methods. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 157, 116819. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2022.116819>
- Wang, R., Sang, P., Guo, Y., Jin, P., Cheng, Y., Yu, H., Xie, Y., Yao, W., & Qian, H. (2023). Cadmium in food: Source, distribution and removal. *Food Chemistry*, 405, 134666. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134666>
- Wen, A., Yuan, S., Wang, H., Mi, S., Yu, H., Guo, Y., Xie, Y., Qian, H., & Yao, W. (2024). Molecular insights on the binding of chlortetracycline to bovine casein and its effect on the thermostability of chlortetracycline. *Food Chemistry*, 432, 137104. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137104>
- Xia, H., Zhang, H., Zhu, Z., Tong, K. xuan, Chang, Q., Zhang, H., Fan, C., & Chen, H. (2024). Rapid determination of eight biogenic amines in air-dried yak meat by QuEChERS combined with ultra-performance liquid chromatography-mass spectrometry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 133, 106466. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106466>

- Xu, X., Liu, X., Zhang, J., Liang, L., Wen, C., Li, Y., Shen, M., Wu, Y., He, X., Liu, G., & Xu, X. (2023). Formation, migration, derivation, and generation mechanism of polycyclic aromatic hydrocarbons during frying. *Food Chemistry*, 425, 136485. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136485>
- Zhang, J., Chen, R., Zhou, H., Wen, D., Lu, Q., Xiong, J., & Wang, C. (2024). Prevalence of aflatoxin B1 in four kinds of fermented soybean-related products used as traditional Chinese food. *LWT*, 191. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115611>
- Zhang, Y., Zhang, Y., Jia, J., Peng, H., Qian, Q., Pan, Z., & Liu, D. (2023). Nitrite and nitrate in meat processing: Functions and alternatives. *Current Research in Food Science*, 6, 100470. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100470>
- Zhang, Z., Zhang, H., Tian, D., Phan, A., Seididamyeh, M., Alanazi, M., Ping Xu, Z., Sultanbawa, Y., & Zhang, R. (2024). Luminescent sensors for residual antibiotics detection in food: Recent advances and perspectives. *Coordination Chemistry Reviews*, 498, 215455. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2023.215455>
- Zhao, L., Szakas, T., Churley, M., & Lucas, D. (2019). Multi-class multi-residue analysis of pesticides in edible oils by gas chromatography-tandem mass spectrometry using liquid-liquid extraction and enhanced matrix removal lipid cartridge cleanup. *Journal of Chromatography A*, 1584, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2018.11.022>
- Zurier, H. S., & Goddard, J. M. (2021). Biodegradation of microplastics in food and agriculture. *Current Opinion in Food Science*, 37, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.09.001>

REFERENCES

- Amelin, V. G., Shogah, Z. A. Ch., & Bolshakov, D. S. (2023). Identification and authentication of cow's milk powder using a smartphone and chemometric analysis. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 2. Chemistry*, 64, 49–59. (In Russ.) <https://doi.org/10.55959/MSU0579–9384–2–2023–64–1–49–59>
- Amelin, V. G., Shogah, Z. A. Ch., Bolshakov, D. S., & Tretyakov, A. V. (2023). Identification and authentication of vegetable oils by digital colorimetry and chemometric analysis. *Industrial Laboratory. Diagnostics of Materials*, 89(2(1)), 5–12. (In Russ.) <https://doi.org/10.26896/1028–6861–2023–89–2–1–5–12>
- Amelin, V. G., Shogah, Z. A. Ch., Bolshakov, D. S., Tretyakov, A. V., Nesterenko, I. S., & Kish, L. K. (2023). Determination of seafood spoilage by digital colorimetry of indicator test systems. *Industrial laboratory. Diagnostics of materials*, 89(9), 25–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.26896/1028–6861–2023–89–9–25–33>
- Balagula, T. V., Lavrukina, O. I., Batov, I. V., Makarov, D. A., & Tretyakov, A. V. (2023). Antibiotics in veterinary medicine: contamination of livestock production. *International Journal of Veterinary Medicine*, 4, 174–179. (In Russ.) <https://doi.org/10.52419/issn2072–2419.2022.4.174>
- Grachev, S. A., Tretyakov, A. V., & Amelin, V. G. (2023). Optimization of sample preparation conditions in the determination of total arsenic in fish and seafoods by atomic absorption spectrometry with electrothermal atomization. *Industrial Laboratory. Diagnostics of Materials*, 89(1), 5–10. (In Russ.) <https://doi.org/10.26896/1028–6861–2023–89–1–5–10>
- Zaytseva, N. V., Ulanova, T. S., Karnazhitskaya, T. D., Zorina, A. S., & Permyakova, T. S. (2018). Determination of phthalates in juice product by high-performance liquid chromatography/mass spectrometry. *Voprosy Pitaniia*, 87(6), 117–124. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0042–8833-2018–10073>
- Kish, L. K., Tretyakov, A. V., Lavrukina, O. I., Amelin, V. G., Gergel, M. A., & Mishchenko, N. V. (2022). Transformation products of pesticides and veterinary drugs in food and raw materials (analytical review). *Theoretical and Applied Ecology*, 2, 15–25. (In Russ.) <https://doi.org/10.25750/1995–4301-2022–2-015–025>
- Lavrukina, O. I., Amelin, V. G., Prokhvatilova, L. B., & Ruchnova, O. I. (2017). Food product contamination risks at different stages of production. *Veterinary Science Today*, 22(3), 33–39. (In Russ.)
- Makarov, D. A., Kozeicheva, E. S., & Shishov, A. S. (2023). Antibiotic contamination of plant products. *Production Quality Control*, 6, 36–41. (In Russ.)

- Morev, A. A., & Vinogradova, O. V. (2019). Determination of macro- and microelements in dairy, meat, and fish food products using microwave plasma — atomic emission spectroscopy. *Industrial Laboratory. Diagnostics of Materials*, 85(3), 14–19. (In Russ.) <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2019-85-3-14-19>
- Chernova, A.V., & Petrochenkova, A.V. (2023). Regulation of the content of the contaminant acrylamide in food products. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*, 63(1), 20–27. (In Russ.)
- Чернова, А. В., & Петроченкова, А. В. (2023). Регламентирование содержания загрязнителя акриламида в пищевой продукции. *Научные труды Дальрыбвтуза*, 63(1), 20–27.
- Abraham, A., & Rambla-Alegre, M. (2017). Marine toxins analysis for consumer protection. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 78, 343–378. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2017.07.004>
- Adebo, O. A., Kayitesi, E., Adebiyi, J. A., Gbashi, S., Temba, M. C., Lasekan, A., Phoku, J. Z., & Njobeh, P. B. (2017). Mitigation of acrylamide in foods: An African perspective. In B. S. R. Reddy (Ed.), *Acrylic polymers in healthcare*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.68982>
- Alamri, M. S., Qasem, A. A. A., Mohamed, A. A., Hussain, S., Ibraheem, M. A., Shamlan, G., Alqah, H. A., & Qasha, A. S. (2021). Food packaging's materials: A food safety perspective. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(8), 4490–4499. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.04.047>
- Albaseer, S. S. (2019). Factors controlling the fate of pyrethroids residues during post-harvest processing of raw agricultural crops: An overview. *Food Chemistry*, 295, 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.109>
- Amelin, V. G., Emelyanov, O. E., Tretyakov, A. V., & Kish, L. K. (2024). Identification and detection of adulterated butter by colorimetry and Near-IR-Spectroscopy. *Journal of Applied Spectroscopy*, 91(4), 826–834. <https://doi.org/10.1007/s10812-024-01790-0>
- Amelin, V. G., Korotkov, A. G., & Andoralov, A. M. (2016). Identification and determination of 492 contaminants of different classes in food and feed by high-resolution mass spectrometry using the standard addition method. *Journal of AOAC International*, 99(6), 1600–1618. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.16-0069>
- Amelin, V. G., Lavrukina O. I. (2017) Food safety assurance using methods of chemical analysis. *Journal of Analytical Chemistry*, 72(1), 1–46. <https://doi.org/10.1134/S1061934817010038>
- Amelin, V. G., Shogah, Z. A. Ch., & Tretyakov, A. V. (2024). Analyzing dairy products: Measuring milk fat mass fraction and detecting adulteration using the PhotoMetrix Pro® Smartphone App. *Journal of Analytical Chemistry*, 79(1), 50–56. <https://doi.org/10.1134/S1061934824010039>
- Amyot, M., Husser, E., St-Fort, K., & Ponton, D. E. (2023). Effect of cooking temperature on metal concentrations and speciation in fish muscle and seal liver. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115184>
- Artiaga, G., Ramos, K., Ramos, L., Cámara, C., & Gómez-Gómez, M. (2015). Migration and characterisation of nanosilver from food containers by AF4-ICP-MS. *Food Chemistry*, 166, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.139>
- Baesu, A., & Bayen, S. (2022). Application of nontarget analysis and high-resolution mass spectrometry for the identification of thermal transformation products of oxytetracycline in Pacific White shrimp. *Journal of Food Protection*, 85(10), 1469–1478. <https://doi.org/10.4315/JFP-22-128>
- Bai, M., Tang, R., Li, G., She, W., Chen, G., Shen, H., Zhu, S., Zhang, H., & Wu, H. (2022). High-throughput screening of 756 chemical contaminants in aquaculture products using liquid chromatography/quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Food Chemistry: X*, 15, 100380. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100380>
- Bianco, M., Calvano, C. D., Ventura, G., Losito, I., & Cataldi, T. R. I. (2022). Determination of hidden milk allergens in meat-based foodstuffs by liquid chromatography coupled to electrospray ionization and high-resolution tandem mass spectrometry. *Food Control*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108443>
- Bolshakov, D. S., & Amelin, V. G. (2023). Capillary electrophoresis in assessing the quality and safety of foods. *Journal of Analytical Chemistry*, 78(7), 815–855. <https://doi.org/10.1134/S106193482307002X>
- Brown, K., Blake, R. S., & Dennany, L. (2022). Electrochemiluminescence within veterinary Science: A review. *Bioelectrochemistry*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2022.108156>
- Buculei, A., Amariei, S., Oroian, M., Gutt, G., Gaceu, L., & Birca, A. (2014). Metals migration between product and metallic package in canned meat. *LWT — Food Science and Technology*, 58(2), 364–374. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.003>

- Bumbudsanpharoke, N., & Ko, S. (2015). Nano-food packaging: An overview of market, migration research, and safety regulations. *Journal of Food Science*, 80(5), R910–R923. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12861>
- Cao, H., Wang, Z., Meng, J., Du, M., Pan, Y., Zhao, Y., & Liu, H. (2022). Determination of arsenic in Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*): Effects of cooking and gastrointestinal digestion on food safety. *Food Chemistry*, 393, 133345. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133345>
- Capita, R., & Alonso-Calleja, C. (2013). Antibiotic-resistant bacteria: A challenge for the food industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(1), 11–48. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.519837>
- Carballo, D., Moltó, J. C., Berrada, H., & Ferrer, E. (2018). Presence of mycotoxins in ready-to-eat food and subsequent risk assessment. *Food and Chemical Toxicology*, 121, 558–565. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.09.054>
- CEF. (2015). Scientific opinion on the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs. *EFSA Journal*, 13(1), 3978. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.3978>
- Cheyns, K., Waegeneers, N., Van de Wiele, T., & Ruttens, A. (2017). Arsenic release from foodstuffs upon food preparation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(11), 2443–2453. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05721>
- Constantinou, M., Louca-Christodoulou, D., & Agapiou, A. (2021). Method validation for the determination of 314 pesticide residues using tandem MS systems (GC–MS/MS and LC–MS/MS) in raisins: Focus on risk exposure assessment and respective processing factors in real samples (a pilot survey). *Food Chemistry*, 360. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129964>
- CONTAM. (2016a). Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *EFSA Journal*, 14(6). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4501>
- CONTAM. (2016b). Risks for human health related to the presence of 3- and 2-monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food. *EFSA Journal*, 14(5), 4426. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4426>
- Crews, C., Chiodini, A., Granvogl, M., Hamlet, C., Hrnčič, K., Kuhlmann, J., Lampen, A., Scholz, G., Weisshaar, R., Wenzl, T., Jasti, P. R., & Seefelder, W. (2013). Analytical approaches for MCPD esters and glycidyl esters in food and biological samples: a review and future perspectives. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 30(1), 11–45. <https://doi.org/10.1080/19440049.2012.720385>
- Cuadrado, C., Sanchiz, A., Arribas, C., Pedrosa, M. M., Gamboa, P., Betancor, D., Blanco, C., Cabanillas, B., & Linacero, R. (2023). Mitigation of peanut allergenic reactivity by combined processing: Pressured heating and enzymatic hydrolysis. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103383>
- Cunningham, B. E., Sharpe, E. E., Brander, S. M., Landis, W. G., & Harper, S. L. (2023). Critical gaps in nanoplastics research and their connection to risk assessment. *Frontiers in Toxicology*, 5, 1154538. <https://doi.org/10.3389/ftox.2023.1154538>
- Custodio-Mendoza, J. A., Sendón, R., de Quirós, A. R.-B., Lorenzo, R. A., & Carro, A. M. (2023). Development of a QuEChERS method for simultaneous analysis of 3-Monochloropropane-1,2-diol monoesters and Glycidyl esters in edible oils and margarine by LC-APCI-MS/MS. *Analytica Chimica Acta*, 1239, 340712. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2022.340712>
- Darwish, W. S., Chiba, H., El-Ghareeb, W. R., Elhelaly, A. E., & Hui, S. P. (2019). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbon content in heat-treated meat retailed in Egypt: Health risk assessment, benzo[a]pyrene induced mutagenicity and oxidative stress in human colon (CaCo-2) cells and protection using rosmarinic and ascorbic acids. *Food Chemistry*, 290, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.127>
- Deng, S., Bai, X., Li, Y., Wang, B., Kong, B., Liu, Q., & Xia, X. (2021). Changes in moisture, colour, residual nitrites and N-nitrosamine accumulation of bacon induced by nitrite levels and dry-frying temperatures. *Meat Science*, 181, 108604. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108604>
- Di Bella, G., Potorti, A. G., Lo Turco, V., Saitta, M., & Dugo, G. (2014). Plasticizer residues by HRGC–MS in espresso coffees from capsules, pods and moka pots. *Food Control*, 41, 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.01.026>
- Dias, C., Costa, J., Mafra, I., Fernandes, D., Brandão, A. T. S. C., Silva, A. F., Pereira, C. M., & Costa, R. (2024). Electrochemical immunosensor for point-of-care detection of soybean Gly m TI allergen in foods. *Talanta*, 268, 125284. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2023.125284>

- Ding, T., & Li, Y. (2024). Biogenic amines are important indices for characterizing the freshness and hygienic quality of aquatic products: A review. *LWT*, 194, 115793. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115793>
- Djordjevic, T., & Djurovic-Pejcev, R. (2016). Food processing as a means for pesticide residue dissipation. *Pesticidi i Fitomedicina*, 31(3–4), 89–105. <https://doi.org/10.2298/pif1604089d>
- Dong, X., & Raghavan, V. (2022). Recent advances of selected novel processing techniques on shrimp allergenicity: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 124, 334–344. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.024>
- Drewnowska, M., Sápór, A., Jarzyńska, G., Nnorom, I. C., Sajwan, K. S., & Falandysz, J. (2012). Mercury in Russula mushrooms: Bioconcentration by Yellow-ocher Brittle Gills Russula ochroleuca. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 47(11), 1577–1591. <https://doi.org/10.1080/10934529.2012.680420>
- Duedahl-Olesen, L., Wilde, A. S., Dagnæs-Hansen, M. P., Mikkelsen, A., Olesen, P. T., & Granby, K. (2022). Acrylamide in commercial table olives and the effect of domestic cooking. *Food Control*, 132, 108515. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108515>
- Dykes, G. A., Coorey, R., Ravensdale, J. T., & Sarjit, A. (2019). Phosphates. In L. Melton, F. Shahidi, & P. Varelis (Eds.), *Encyclopedia of food chemistry* (pp. 218–224). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21583-7>
- Edna Hee, P. T., Liang, Z., Zhang, P., & Fang, Z. (2024). Formation mechanisms, detection methods and mitigation strategies of acrylamide, polycyclic aromatic hydrocarbons and heterocyclic amines in food products. *Food Control*, 158, 110236. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110236>
- El Qacemi, M., Rendine, S., & Maienfisch, P. (2018). Recent applications of fluorine in crop protection-new discoveries originating from the unique heptafluoroisopropyl group. In G. Haufe & F. R. Leroux (Eds.), *Fluorine in life sciences: Pharmaceuticals, medicinal diagnostics, and agrochemicals progress in fluorine science series* (pp. 607–629). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812733-9.00017-9>
- El-Saber Batiha, G., Hussein, D. E., Algammal, A. M., George, T. T., Jeandet, P., Al-Snafi, A. E., Tiwari, A., Pagnossa, J. P., Lima, C. M., Thorat, N. D., Zahoor, M., El-Esawi, M., Dey, A., Alghamdi, S., Hetta, H. F., & Cruz-Martins, N. (2021). Application of natural antimicrobials in food preservation: Recent views. *Food Control*, 126, 108066. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108066>
- Eymar, E., Garcia-Delgado, C., & Esteban, R. M. (2016). Food Poisoning: Classification. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 56–66). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00317-2>
- Fan, M., Xu, X., Lang, W., Wang, W., Wang, X., Xin, A., Zhou, F., Ding, Z., Ye, X., & Zhu, B. (2023). Toxicity, formation, contamination, determination and mitigation of acrylamide in thermally processed plant-based foods and herbal medicines: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115059>
- FAO. (2017). Food safety risk management. Evidence-informed policies and decisions, considering multiple factors. 4 — *Food safety and quality series*. FAO.
- FAO/WHO. (2013). *Public health risks of histamine and other biogenic amines from fish and fishery products*. FAO.
- FAO/WHO. (2024). *Report 2023: Pesticide residues in food — Joint FAO/WHO meeting on pesticide residues*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc9755en>
- Fong, F. L. Y., El-Nezami, H., & Sze, E. T. P. (2021). Biogenic amines — Precursors of carcinogens in traditional Chinese fermented food. *NFS Journal*, 23, 52–57. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2021.04.002>
- Fujii, Y., Harada, K. H., Nakamura, T., Kato, Y., Ohta, C., Koga, N., Kimura, O., Endo, T., Koizumi, A., & Haraguchi, K. (2020). Perfluorinated carboxylic acids in edible clams: A possible exposure source of perfluorooctanoic acid for Japanese population. *Environmental Pollution*, 263, 114369. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114369>
- Gajda, A., Bladek, T., Gbylik-Sikorska, M., & Posyniak, A. (2017). The influence of cooking procedures on doxycycline concentration in contaminated eggs. *Food Chemistry*, 221, 1666–1670. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.121>
- Gallardo-Ramos, J. A., Marín-Sáez, J., Sanchis, V., Gámiz-Gracia, L., García-Campaña, A. M., Hernández-Mesa, M., & Cano-Sancho, G. (2024). Simultaneous detection of mycotoxins and pesticides in human urine samples: A 24-h diet intervention study comparing conventional and organic diets in Spain. *Food and Chemical Toxicology*, 188, 114650. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2024.114650>

- Ganjeh, A. M., Moreira, N., Pinto, C. A., Casal, S., & Saraiva, J. A. (2024). The effects of high-pressure processing on biogenic amines in food: A review. *Food and Humanity*, 2, 100252. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100252>
- Ghahremani, M.-H., Ghazi-Khansari, M., Farsi, Z., Yazdanfar, N., Jahanbakhsh, M., & Sadighara, P. (2024). Bisphenol A in dairy products, amount, potential risks, and the various analytical methods, a systematic review. *Food Chemistry: X*, 21, 101142. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101142>
- Gmshinski, I. V., Shipelin, V. A., Kolobanov, A. I., Sokolov, I. E., Maisaya, K. Z., & Khotimchenko, S. A. (2023). Methods for the identification and quantification of microplastics in foods (A review). *Problems of Nutrition*, 92(5), 87–102. <https://doi.org/10.33029/0042–8833-2023–92–5–87–102>
- Goh, K. M., Wong, Y. H., Tan, C. P., & Nyam, K. L. (2021). A summary of 2-, 3-MCPD esters and glycidyl ester occurrence during frying and baking processes. *Current Research in Food Science*, 4, 460–469. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.07.002>
- Gorecki, S., Bemrah, N., Roudot, A.-C., Marchioni, E., Le Bizec, B., Faivre, F., Kadawathagedara, M., Botton, J., & Rivière, G. (2017). Human health risks related to the consumption of foodstuffs of animal origin contaminated by bisphenol A. *Food and Chemical Toxicology*, 110, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.10.045>
- Grusie, T., Cowan, V., Singh, J., McKinnon, J., & Blakley, B. (2018). Proportions of predominant Ergot alkaloids (*Claviceps purpurea*) detected in Western Canadian grains from 2014 to 2016. *World Mycotoxin Journal*, 11(2), 259–264. <https://doi.org/10.3920/WMJ2017.2241>
- Haque, M. A., Wang, Y., Shen, Z., Li, X., Saleemi, M. K., & He, C. (2020). Mycotoxin contamination and control strategy in human, domestic animal and poultry: A review. *Microbial Pathogenesis*, 142, 104095. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104095>
- Hassoun, A., Pasti, L., Chenet, T., Rusanova, P., Smaoui, S., Ait-Kaddour, A., & Bono, G. (2023). Detection methods of micro and nanoplastics. In F. Özogul (Ed.), *Advances in food and nutrition research* (vol. 103, pp. 175–227). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2022.08.002>
- Heo, D.-G., Lee, D.-C., Kwon, Y.-M., Seol, M.-J., Moon, J. S., Chung, S. M., & Kim, J.-H. (2022). Simultaneous determination of perfluorooctanoic acid and perfluorooctanesulfonic acid in Korean sera using LC-MS/MS. *Journal of Chromatography B*, 1192, 123138. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2022.123138>
- Hernandez-Ledesma, B., & Herrero, M. (Eds.). (2013). *Bioactive Compounds from Marine Foods: Plant and Animal Sources*. Wiley-Blackwell.
- Huang, J. Y., Li, X., & Zhou, W. (2015). Safety assessment of nanocomposite for food packaging application. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 187–199. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.002>
- Huang, M., & Penning, T. M. (2014). Processing Contaminants: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). In Y. Motarjemi (Ed.), *Encyclopedia of food safety* (vol. 2, pp. 416–423). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378612-8.00212-2>
- Huang, Z., Qu, Y., Hua, X., Wang, F., Jia, X., & Yin, L. (2023). Recent advances in soybean protein processing technologies: A review of preparation, alterations in the conformational and functional properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 248, 125862. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125862>
- Iqbal, S. Z., Rabbani, T., Asi, M. R., & Jinap, S. (2014). Assessment of aflatoxins, ochratoxin A and zearalenone in breakfast cereals. *Food Chemistry*, 157, 257–262. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.129>
- Izzo, L., Narváez, A., Castaldo, L., Gaspari, A., Rodríguez-Carrasco, Y., Grosso, M., & Ritieni, A. (2022). Multiclass and multi-residue screening of mycotoxins, pharmacologically active substances, and pesticides in infant milk formulas through ultra-high-performance liquid chromatography coupled with high-resolution mass spectrometry analysis. *Journal of Dairy Science*, 105(4), 2948–2962. <https://doi.org/10.3168/jds.2021–21123>
- Izzo, L., Rodríguez-Carrasco, Y., Tolosa, J., Graziani, G., Gaspari, A., & Ritieni, A. (2020). Target analysis and retrospective screening of mycotoxins and pharmacologically active substances in milk using an ultra-high-performance liquid chromatography/high-resolution mass spectrometry approach. *Journal of Dairy Science*, 103(2), 1250–1260. <https://doi.org/10.3168/jds.2019–17277>
- Jia, Q., Liao, G., Chen, L., Qian, Y., Yan, X., & Qiu, J. (2024). Pesticide residues in animal-derived food: Current state and perspectives. *Food Chemistry*, 438, 137974. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137974>

- Jooste, P. J., Anelich, L., & Motarjemi, Y. (2014). Safety of food and beverages: Milk and dairy products. In Y. Motarjemi (Ed.), *Encyclopedia of food safety* (vol. 3, pp. 285–296). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378612-8.00286-9>
- Kobun, R. (Ed.). (2021). Biosensor technology to detect chemical contamination in food. In *Advanced food fnalysis tools* (pp. 127–146). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820591-4.00007-4>
- Kohli, G. S., Papiol, G. G., Rhodes, L. L., Harwood, D. T., Selwood, A., Jerrett, A., Murray, S. A., & Neilan, B. A. (2014). A feeding study to probe the uptake of Maitotoxin by snapper (*Pagrus auratus*). *Harmful Algae*, 37, 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2014.05.018>
- Kovalchuk, Y., Podurets, A., Osmolovskaya, O., Nugbienyo, L., & Bulatov, A. (2024). Layered double hydroxide nanoparticles for a smartphone digital image colorimetry-based determination of fluoride ions in water, milk and dental products. *Food Chemistry*, 438, 137999. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137999>
- Kumar, N., Singh, A., Sharma, D. K., & Kishore, K. (2019). Toxicity of food additives. In R. L. Singh & S. Mondal (Eds.), *Food safety and human health* (pp. 67–98). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816333-7.00003-5>
- Kuswandi, B., Futra, D., & Heng, L. Y. (2017). Nanosensors for the Detection of Food Contaminants. In A. E. Oprea & A. M. Grumezescu (Eds.), *Nanotechnology applications in food: Flavor, stability, nutrition and safety* (pp. 307–333). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811942-6.00015-7>
- Lambré, C., Barat Baviera, J. M., Bolognesi, C., Chesson, A., Cocconcelli, P. S., Crebelli, R., Gott, D. M., Grob, K., Lampi, E., Mengelers, M., Mortensen, A., Rivière, G., Silano (until December †), V., Steffensen, I., Tlustos, C., Vernis, L., Zorn, H., Batke, M., Bignami, M., & Corsini, E. (2023). Re-evaluation of the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs. *EFSA Journal*, 21(4). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.6857>
- Leal, J. F., & Cristiano, M. L. S. (2022). Marine paralytic shellfish toxins: Chemical properties, mode of action, newer analogues, and structure-toxicity relationship. *Natural Product Reports*, 39(1), 33–57. <https://doi.org/10.1039/d1np00009h>
- Lee, J.-G., Kim, S.-Y., Moon, J.-S., Kim, S.-H., Kang, D.-H., & Yoon, H.-J. (2016). Effects of grilling procedures on levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meats. *Food Chemistry*, 199, 632–638. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.017>
- Leigh, J., & MacMahon, S. (2017). Occurrence of 3-monochloropropanediol esters and glycidyl esters in commercial infant formulas in the United States. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 34(3), 356–370. <https://doi.org/10.1080/19440049.2016.1276304>
- Li, J., Chen, S., Li, H., Liu, X., Cheng, J., & Ma, L. Q. (2021). Arsenic bioaccessibility in rice grains via modified physiologically-based extraction test (MPBET): Correlation with mineral elements and comparison with As relative bioavailability. *Environmental Research*, 198, 111198. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111198>
- Li, T., Li, J., Wang, J., Xue, K. S., Su, X., Qu, H., Duan, X., & Jiang, Y. (2024). The occurrence and management of fumonisin contamination across the food production and supply chains. *Journal of Advanced Research*, 60, 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2023.08.001>
- Lin, Q.-B., Li, H., Zhong, H.-N., Zhao, Q., Xiao, D.-H., & Wang, Z.-W. (2014). Migration of Ti from nano-TiO₂-polyethylene composite packaging into food simulants. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 1–7. <https://doi.org/10.1080/19440049.2014.907505>
- Ling, M.-P., Wu, C.-H., Chen, S.-C., Chen, W.-Y., Chio, C.-P., Cheng, Y.-H., & Liao, C.-M. (2014). Probabilistic framework for assessing the arsenic exposure risk from cooked fish consumption. *Environmental Geochemistry and Health*, 36(6), 1115–1128. <https://doi.org/10.1007/s10653-014-9621-8>
- Liu, Y., Huang, Y., Li, L., Xiong, Y., Tong, L., Wang, F., Fan, B., & Gong, J. (2023). Effect of different agricultural conditions, practices, and processing on levels of total arsenic and species in cereals and vegetables: A review. *Food Control*, 152, 109876. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109876>
- Lo Turco, V., Di Bella, G., Potortì, A. G., Fede, M. R., & Dugo, G. (2015). Determination of plasticizer residues in tea by solid phase extraction–gas chromatography–mass spectrometry. *European Food Research and Technology*, 240(2), 451–458. <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2344-3>
- Luo, Q., Liu, Z., Yin, H., Dang, Z., Wu, P., Zhu, N., Lin, Z., & Liu, Y. (2018). Migration and potential risk of trace phthalates in bottled water: A global situation. *Water Research*, 147, 362–372. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.002>

- Mahato, D. K., Kamle, M., Sharma, B., Pandhi, S., Devi, S., Dhawan, K., Selvakumar, R., Mishra, D., Kumar, A., Arora, S., Singh, N. A., & Kumar, P. (2021). Patulin in food: A mycotoxin concern for human health and its management strategies. *Toxicon*, 198, 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2021.04.027>
- Manav, Ö. G., Dinç-Zor, Ş., & Alpdoğan, G. (2019). Optimization of a modified QuEChERS method by means of experimental design for multiresidue determination of pesticides in milk and dairy products by GC–MS. *Microchemical Journal*, 144, 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.08.056>
- Manimekalai, M., Rawson, A., Sengar, A. S., & Kumar, K. S. (2019). Development, optimization, and validation of methods for quantification of veterinary drug residues in complex food matrices using liquid-chromatography — A review. *Food Analytical Methods*, 12(8), 1823–1837. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01512-9>
- Martín-Gómez, B., Stephen Elmore, J., Valverde, S., Ares, A. M., & Bernal, J. (2024). Recent applications of chromatography for determining microplastics and related compounds (bisphenols and phthalate esters) in food. *Microchemical Journal*, 197, 109903. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2024.109903>
- Mihindukulasuriya, S. D. F., & Lim, L. T. (2014). Nanotechnology development in food packaging: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 40(2), 149–167. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.09.009>
- Molina-Garcia, L., Santos, C. S. P., Melo, A., Fernandes, J. O., Cunha, S. C., & Casal, S. (2015). Acrylamide in chips and french fries: A novel and simple method using xanthidol for its GC-MS determination. *Food Analytical Methods*, 8(6), 1436–1445. <https://doi.org/10.1007/s12161-014-0014-5>
- Morya, S., Amoah, A. E. D. D., & Snaebjornsson, S. O. (2020). Food poisoning hazards and their consequences over food safety. In P. Chowdhary, A. Raj, D. Verma, & Y. Akhter (Eds.), *Microorganisms for sustainable environment and health* (pp. 383–400). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819001-2.00019-X>
- Muaz, K., Riaz, M., Akhtar, S., Park, S., & Ismail, A. (2018). Antibiotic residues in chicken meat: Global prevalence, threats, and decontamination strategies: A review. *Journal of Food Protection*, 81(4), 619–627. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-17-086>
- Mühlemann, M. (2014). Safety of food and beverages: Dairy products: Cheese. In Y. Motarjemi (Ed.), *Encyclopedia of Food Safety* (Vol. 3, pp. 297–308). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378612-8.00415-7>
- Myrtsi, E. D., Koulocheri, S. D., & Haroutounian, S. A. (2023). A novel method for the efficient simultaneous quantification of 67 phytoestrogens in plants and foodstuffs. *Food Bioscience*, 56, 103357. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103357>
- Nerín, C., Aznar, M., & Carrizo, D. (2016). Food contamination during food process. *Trends in Food Science and Technology*, 48, 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.004>
- Ni, M., Li, X., Zhang, L., Kumar, V., & Chen, J. (2022). Bibliometric analysis of the toxicity of Bisphenol A. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13), 7886. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137886>
- Nyman, P. J., Limm, W., Begley, T. H., & Chirtel, S. J. (2014). Single-laboratory validation of a method for the determination of select volatile organic compounds in foods by using vacuum distillation with gas chromatography/mass spectrometry. *Journal of AOAC International*, 97(2), 510–520. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.13-294>
- Özogul, F., & Hamed, I. (2018). Marine-based toxins and their health risk. In I. M. Holban & A. M. Grumezescu (Eds.), *Handbook of food bioengineering, Food quality: Balancing health and disease* (vol. 13, pp. 109–144). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811442-1.00003-1>
- Park, J., Yang, K.-A., Choi, Y., & Choe, J. K. (2022). Novel ssDNA aptamer-based fluorescence sensor for perfluorooctanoic acid detection in water. *Environment International*, 158, 107000. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.107000>
- Pasias, I. N., Raptopoulou, K. G., & Proestos, C. (2018). Migration from metal packaging into food. *Reference module in food science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.22528-6>
- Passos, C. P., Ferreira, S. S., Serôdio, A., Basil, E., Marková, L., Kukurová, K., Ciesarová, Z., & Coimbra, M. A. (2018). Pectic polysaccharides as an acrylamide mitigation strategy – Competition between reducing sugars and sugar acids. *Food Hydrocolloids*, 81, 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.032>
- Perrone, G., Rodriguez, A., Magistà, D., & Magan, N. (2019). Insights into existing and future fungal and mycotoxin contamination of cured meats. *Current Opinion in Food Science*, 29, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.06.012>

- Perugini, M., Zezza, D., Tulini, S. M. R., Abete, M. C., Monaco, G., Conte, A., Olivieri, V., & Amorena, M. (2016). Effect of cooking on total mercury content in Norway lobster and European hake and public health impact. *Marine Pollution Bulletin*, 109(1), 521–525. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.010>
- Peters, R. J. B., Rivera, Z. H., van Bommel, G., Marvin, H. J. P., Weigel, S., & Bouwmeester, H. (2014). Development and validation of single particle ICP-MS for sizing and quantitative determination of nano-silver in chicken meat. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1007/s00216-013-7571-0>
- Peters, R. J. B., van Bommel, G., Herrera-Rivera, Z., Helsper, H. P. F. G., Marvin, H. J. P., Weigel, S., Tromp, P. C., Oomen, A. G., Rietveld, A. G., & Bouwmeester, H. (2014). Characterization of titanium dioxide nanoparticles in food products: Analytical methods to define nanoparticles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(27), 6285–6293. <https://doi.org/10.1021/jf5011885>
- Pilolli, R., Van Poucke, C., De Angelis, E., Nitride, C., de Loose, M., Gillard, N., Huet, A. C., Tranquet, O., Larré, C., Adel-Patient, K., Bernard, H., Mills, E. N. C., & Monaci, L. (2021). Discovery based high resolution MS/MS analysis for selection of allergen markers in chocolate and broth powder matrices. *Food Chemistry*, 343, 128533. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128533>
- Planche, C., Ratel, J., Blinet, P., Mercier, F., Angénieux, M., Chafey, C., Zinck, J., Marchond, N., Chevolleau, S., Marchand, P., Dervilly-Pinel, G., Guérin, T., Debrauwer, L., & Engel, E. (2017). Effects of pan cooking on micropollutants in meat. *Food Chemistry*, 232, 395–404. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.049>
- Planque, M., Arnould, T., Dieu, M., Delahaut, P., Renard, P., & Gillard, N. (2016). Advances in ultra-high performance liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry for sensitive detection of several food allergens in complex and processed foodstuffs. *Journal of Chromatography A*, 1464, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2016.08.033>
- Poissant, R., Mariotti, F., Zalko, D., & Membré, J. M. (2023). Ranking food products based on estimating and combining their microbiological, chemical and nutritional risks: Method and application to Ready-To-Eat dishes sold in France. *Food Research International*, 169, 112939. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112939>
- Pudel, F., Benecke, P., Fehling, P., Anne Sigrid Freudenstein, Bertrand Matthäus, & Schwaf, A. (2011). On the necessity of edible oil refining and possible sources of 3-MCPD and glycidyl esters. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 113(3), 368–373. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201000460>
- Ramos, F., Santos, L., & Barbosa, J. (2017). Nitrofurant veterinary drug residues in chicken eggs. In P. Y. Hester (Ed.), *Egg innovations and strategies for improvements* (pp. 457–464). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800879-9.00043-3>
- Rana, M. S., Lee, S. Y., Kang, H. J., & Hur, S. J. (2019). Reducing veterinary drug residues in animal products: A review. *Food Science of Animal Resources*, 39(5), 687–703. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e65>
- Rodriguez-Saona, L., Aykas, D. P., Borba, K. R., & Urtubia, A. (2020). Miniaturization of optical sensors and their potential for high-throughput screening of foods. *Current Opinion in Food Science*, 31, 136–150. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.04.008>
- Saha Turna, N., Chung, R., & McIntyre, L. (2024). A review of biogenic amines in fermented foods: Occurrence and health effects. *Heliyon*, 10(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24501>
- Sanchis, Y., Yusà, V., & Coscollà, C. (2017). Analytical strategies for organic food packaging contaminants. In *Journal of Chromatography A* (vol. 1490, pp. 22–46). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2017.01.076>
- Santonicola, S., Ferrante, M. C., Di Leo, G., Murru, N., Anastasio, A., & Mercogliano, R. (2018). Study on endocrine disruptors levels in raw milk from cow's farms: Risk assessment. *Italian Journal of Food Safety*, 7(3), 7668. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2018.7668>
- Schilberg, R. N., Wei, S., Twagirayezu, S., & Neill, J. L. (2021). Conformational dynamics of perfluorooctanoic acid (PFOA) studied by molecular rotational resonance (MRR) spectroscopy. *Chemical Physics Letters*, 778, 138789. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2021.138789>
- Shruti, V. C., & Kutralam-Muniasamy, G. (2024). Migration testing of microplastics in plastic food-contact materials: Release, characterization, pollution level, and influencing factors. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 170, 117421. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117421>

- Sin, J. E. V., Shen, P., Teo, G. S., Neo, L. P., Huang, L., Chua, P., Tan, M. W., Wu, Y., Li, A., Er, J. C., & Chan, S. H. (2023). Surveillance of veterinary drug residues in food commonly consumed in Singapore and assessment of dietary exposure. *Heliyon*, 9(11), e21160. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21160>
- Singh, G., Stephan, C., Westerhoff, P., Carlander, D., & Duncan, T. V. (2014). Measurement Methods to Detect, Characterize, and Quantify Engineered Nanomaterials in Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 693–704. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12078>
- Singh, L., Agarwal, T., & Simal-Gandara, J. (2023). Summarizing minimization of polycyclic aromatic hydrocarbons in thermally processed foods by different strategies. *Food Control*, 146, 109514. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109514>
- Singh, L., Varshney, J. G., & Agarwal, T. (2016). Polycyclic aromatic hydrocarbons' formation and occurrence in processed food. *Food Chemistry*, 199, 768–781. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.074>
- Smith, D. J., & Kim, M. K. (2017). Chemical Contamination of Red Meat. In D. Schrenk & A. Cartus (Eds.), *Chemical contaminants and residues in food* (2nd ed., pp. 451–489). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100674-0.00018-7>
- Sohail, M., Urooj, Z., Noreen, S., Baig, M. M. F. A., Zhang, X., & Li, B. (2023). Micro- and nanoplastics: Contamination routes of food products and critical interpretation of detection strategies. *Science of The Total Environment*, 891, 164596. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164596>
- Soliño, L., & Costa, P. R. (2018). Differential toxin profiles of ciguatoxins in marine organisms: Chemistry, fate and global distribution. In *Toxicon* (vol. 150, pp. 124–143). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2018.05.005>
- Song, X., Li, R., Li, H., Hu, Z., Mustapha, A., & Lin, M. (2014). Characterization and Quantification of Zinc Oxide and Titanium Dioxide Nanoparticles in Foods. *Food and Bioprocess Technology*, 7(2), 456–462. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1071-2>
- Stadler, R. H. (2019). Introduction to the volume: Food adulteration & contamination. In L. Melton, F. Shahidi, & P. Varelis (Eds.), *Encyclopedia of food chemistry* (pp. 317–319). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21783-6>
- Stadler, R. H., & Theurillat, V. (2017). Heat-Generated Toxicants in foods (acrylamide, MCPD esters, glycidyl esters, furan, and related compounds). In D. Schrenk & A. Cartus (Eds.), *Chemical contaminants and residues in food* (2nd ed., pp. 171–195). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100674-0.00008-4>
- Stegelmeier, B. L., Colegate, S. M., & Brown, A. W. (2016). Dehydropyrrolizidine alkaloid toxicity, cytotoxicity, and carcinogenicity. *Toxins*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/toxins8120356>
- Stella, R., Sette, G., Moressa, A., Gallina, A., Aloisi, A. M., Angeletti, R., & Biancotto, G. (2020). LC-HRMS/MS for the simultaneous determination of four allergens in fish and swine food products. *Food Chemistry*, 331. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127276>
- Sun, X., Wang, R., Li, L., Wang, X., & Ji, W. (2021). Online extraction based on ionic covalent organic framework for sensitive determination of trace per- and polyfluorinated alkyl substances in seafoods by UHPLC-MS/MS. *Food Chemistry*, 362. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130214>
- Thakali, A., & MacRae, J. D. (2021). A review of chemical and microbial contamination in food: What are the threats to a circular food system? In *Environmental Research* (vol. 194). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110635>
- Thanushree, M. P., Sailendri, D., Yoha, K. S., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2019). Mycotoxin contamination in food: An exposition on spices. *Trends in Food Science and Technology*, 93, 69–80. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.010>
- Theurillat, X., Mujahid, C., Eriksen, B., Griffin, A., Savage, A., Delatour, T., & Mottier, P. (2023). An LC-MS/MS method for the quantitative determination of 57 per- and polyfluoroalkyl substances at ng/kg levels in different food matrices. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 40(7), 862–877. <https://doi.org/10.1080/19440049.2023.2226771>
- Thomsen, S. T., Assunção, R., Afonso, C., Boué, G., Cardoso, C., Cubadda, F., Garre, A., Kruisselbrink, J. W., Mantovani, A., Pitter, J. G., Poulsen, M., Verhagen, H., Ververis, E., Voet, H. van der, Watzl, B., & Pires, S. M. (2022). Human health risk–benefit assessment of fish and other seafood: a scoping review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(27), 7479–7502. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1915240>

- Tian, L., & Bayen, S. (2018). Thermal degradation of chloramphenicol in model solutions, spiked tissues and incurred samples. *Food Chemistry*, 248, 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.043>
- Tolosa, J., Rodríguez-Carrasco, Y., Ruiz, M. J., & Vila-Donat, P. (2021). Multi-mycotoxin occurrence in feed, metabolism and carry-over to animal-derived food products: A review. *Food and Chemical Toxicology*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112661>
- Torre, R., Freitas, M., Costa-Rama, E., Nouws, H. P. A., & Delerue-Matos, C. (2022). Food allergen control: Tropomyosin analysis through electrochemical immunosensing. *Food Chemistry*, 396. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133659>
- Ulanova, T. S., Karnazhitskaya, T. D., Zelenkin, S. E., & Zorina, A. S. (2021). Phthalate analysis in foods for young children using LC-MS method. *Problems of Nutrition*, 90(2), 128–137. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-2-128-137>
- Upadhyay, M. K., Shukla, A., Yadav, P., & Srivastava, S. (2019). A review of arsenic in crops, vegetables, animals and food products. *Food Chemistry*, 276, 608–618. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.069>
- Van der Fels-Klerx, H. J., Van Asselt, E. D., Raley, M., Poulsen, M., Korsgaard, H., Bredsdorff, L., Nauta, M., D'agostino, M., Coles, D., Marvin, H. J. P., & Frewer, L. J. (2018). Critical review of methods for risk ranking of food-related hazards, based on risks for human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(2), 178–193. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1141165>
- Vidaček, S. (2013). Seafood. In *Food safety management: A practical guide for the food industry* (pp. 189–212). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381504-0.00008-1>
- Vitali, C., Peters, R. J. B., Janssen, H. G., & Nielen, M. W. F. (2023). Microplastics and nanoplastics in food, water, and beverages; part I. occurrence. *TrAC — Trends in Analytical Chemistry*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2022.116670>
- Vitali, C., Peters, R. J. B., Janssen, H.-G., Nielen, M. W. F., & Ruggeri, F. S. (2022). Microplastics and nanoplastics in food, water, and beverages, part II. Methods. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 157, 116819. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2022.116819>
- Wang, R., Sang, P., Guo, Y., Jin, P., Cheng, Y., Yu, H., Xie, Y., Yao, W., & Qian, H. (2023). Cadmium in food: Source, distribution and removal. *Food Chemistry*, 405, 134666. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134666>
- Wen, A., Yuan, S., Wang, H., Mi, S., Yu, H., Guo, Y., Xie, Y., Qian, H., & Yao, W. (2024). Molecular insights on the binding of chlortetracycline to bovine casein and its effect on the thermostability of chlortetracycline. *Food Chemistry*, 432, 137104. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137104>
- Xia, H., Zhang, H., Zhu, Z., Tong, K. xuan, Chang, Q., Zhang, H., Fan, C., & Chen, H. (2024). Rapid determination of eight biogenic amines in air-dried yak meat by QuEChERS combined with ultra-performance liquid chromatography-mass spectrometry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 133, 106466. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106466>
- Xu, X., Liu, X., Zhang, J., Liang, L., Wen, C., Li, Y., Shen, M., Wu, Y., He, X., Liu, G., & Xu, X. (2023). Formation, migration, derivation, and generation mechanism of polycyclic aromatic hydrocarbons during frying. *Food Chemistry*, 425, 136485. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136485>
- Zhang, J., Chen, R., Zhou, H., Wen, D., Lu, Q., Xiong, J., & Wang, C. (2024). Prevalence of aflatoxin B1 in four kinds of fermented soybean-related products used as traditional Chinese food. *LWT*, 191. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115611>
- Zhang, Y., Zhang, Y., Jia, J., Peng, H., Qian, Q., Pan, Z., & Liu, D. (2023). Nitrite and nitrate in meat processing: Functions and alternatives. *Current Research in Food Science*, 6, 100470. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100470>
- Zhang, Z., Zhang, H., Tian, D., Phan, A., Seididamyeh, M., Alanazi, M., Ping Xu, Z., Sultanbawa, Y., & Zhang, R. (2024). Luminescent sensors for residual antibiotics detection in food: Recent advances and perspectives. *Coordination Chemistry Reviews*, 498, 215455. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2023.215455>
- Zhao, L., Szakas, T., Churley, M., & Lucas, D. (2019). Multi-class multi-residue analysis of pesticides in edible oils by gas chromatography-tandem mass spectrometry using liquid-liquid extraction and enhanced matrix removal lipid cartridge cleanup. *Journal of Chromatography A*, 1584, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2018.11.022>
- Zurier, H. S., & Goddard, J. M. (2021). Biodegradation of microplastics in food and agriculture. *Current Opinion in Food Science*, 37, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.09.001>

ОБ АВТОРАХ

Лаврухина Ольга Игоревна, к.х.н, доцент, ведущий научный сотрудник отдела научного планирования и НИР ФГБУ «Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов» (123022, Российская Федерация, г. Москва, Звенигородское ш., д. 5), доцент кафедры химии ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых» (600000, Российская Федерация, г. Владимир, ул. Горького, д. 87), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6248-5726>, Scopus ID: 58625847600, SPIN-код: 6238-3898, e-mail: hamsster@mail.ru

Макаров Дмитрий Алексеевич, старший научный сотрудник отдела безопасности пищевой и кормовой продукции ФГБУ «Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов» (123022, Российская Федерация, г. Москва, Звенигородское ш., д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3834-0695>, Scopus ID: 57125646200, SPIN-код: 7545-8829, e-mail: phorez@yandex.ru

Козеичева Елизавета Сергеевна, к.б.н, ведущий научный сотрудник отдела безопасности пищевой и кормовой продукции ФГБУ «Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов» (123022, Российская Федерация, г. Москва, Звенигородское ш., д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6609-8256>, Scopus ID: 57418694300, SPIN-код: 1545-3797, e-mail: e.kozeicheva@vgnki.ru

Балагула Татьяна Викторовна, к.вет.н., начальник управления государственного ветеринарного надзора Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору (107996, Российская Федерация, г. Москва, Орликов пер., д. 1/11), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0583-4277>, e-mail: t.balagula2011@yandex.ru

Третьяков Алексей Викторович, к.х.н., доцент, заместитель директора ФГБУ «Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов» (123022, Российская Федерация, г. Москва, Звенигородское ш., д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4984-9502>, Scopus ID: 36151319600, SPIN-код: 2054-9696, e-mail: a.tretyakov@vgnki.ru

Гергель Мария Александровна, к.б.н., заведующий отделением биотехнологии ФГБУ «Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов» (123022, Российская Федерация, г. Москва, Звенигородское ш., д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8033-1154>, Scopus ID: 57219603683, SPIN-код: 1281-8573, e-mail: m.gergel@vgnki.ru

Лозовая Евгения Александровна, начальник службы качества ФГБУ «Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов» (123022, Российская Федерация, г. Москва, Звенигородское ш., д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8557-0607>, e-mail: lozovaya@vgnki.ru

AUTHOR INFORMATION

Lavrukhina Olga Igorevna, Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, Leading Research Scientist, Department of Scientific Planning and Research, The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality (123022, Russian Federation, Moscow, Zvenigorodskoe shosse, 5); Associate Professor, Department of Chemistry, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs" (600000, Russian Federation, Vladimir, ul. Gorkogo, 87). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6248-5726>, Scopus ID: 58625847600, SPIN-code: 6238-3898, e-mail: hamsster@mail.ru

Makarov Dmitry Alexeyevich, Senior Research Scientist, Department of Food and Feed Safety, The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality (123022, Russian Federation, Moscow, Zvenigorodskoe shosse, 5). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3834-0695>, Scopus ID: 57125646200, SPIN-code: 7545-8829, e-mail: phorez@yandex.ru

Kozeicheva Elizaveta Sergeevna, Cand. Sci. (Biol.), Leading Research Scientist, Department of Food and Feed Safety, The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality (123022, Russian Federation, Moscow, Zvenigorodskoe shosse, 5). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6609-8256>, Scopus ID: 57418694300, SPIN-code: 1545-3797, e-mail: e.kozeicheva@vgnki.ru

Balagula Tatiana Victorovna, Cand. Sci. (Vet.), Head of the State Veterinary Supervision Department, Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance (107996, Russian Federation, Moscow, Orlikov per., 1/11). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0583-4277>, e-mail: t.balagula2011@yandex.ru

Tretyakov Alexey Victorovich, Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, Deputy Director, The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality (123022, Russian Federation, Moscow, Zvenigorodskoe shosse, 5). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4984-9502>, Scopus ID: 36151319600, SPIN-code: 2054-9696, e-mail: a.tretyakov@vgnki.ru

Gergel Maria Alexandrovna, Cand. Sci. (Biol.), Head of the Biotechnology Department, The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality (123022, Russian Federation, Moscow, Zvenigorodskoe shosse, 5). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8033-1154>, Scopus ID: 57219603683, SPIN-code: 1281-8573, e-mail: m.gergel@vgnki.ru

Lozovaya Evgeniya Alexandrovna, Head of the Quality Service, The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality (123022, Russian Federation, Moscow, Zvenigorodskoe shosse, 5). ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8557-0607>, e-mail: lozovaya@vgnki.ru