



Шур П.З.¹, Суворов Д.В.¹, Зеленкин С.Е.¹, Лир Д.Н.^{1,2}

Идентификация потенциальной опасности потребления новых видов пищевых продуктов для здоровья населения (систематический обзор)

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 614045, Пермь, Россия;

²ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 614990, Пермь, Россия

Введение. Сокращение в мясной промышленности объёмов производства, в том числе связанное с борьбой с глобальным потеплением, неизбежно ведёт науку к поиску альтернативного источника белка. Однако с появлением новых пищевых продуктов возникает и потенциальная опасность для здоровья при их потреблении.

Материалы и методы. С целью поиска информации о потенциальной опасности для здоровья человека при потреблении наиболее распространённых новых видов пищевых продуктов выполнен систематический обзор релевантных источников информации с применением рекомендаций для проведения систематических обзоров исследований PRISMA. Проанализировано на соответствие поставленной цели более двух тысяч источников с последующим выделением 64 основных.

Результаты. В рамках обзора установлены и рассмотрены три группы новых видов пищевых продуктов животного происхождения, наиболее часто встречающиеся в исследованиях по изучению потенциальных опасностей для здоровья человека. Проведён анализ потенциальных опасностей при употреблении новых видов пищевых продуктов. Установлено, что следует уделять внимание возможному изменению биологической ценности белка нового вида пищевого продукта, наличию незаявленных и (или) непреднамеренно присутствующих химических веществ, гиперреактивности иммунной системы человека. Кроме того, при использовании белка насекомых и ГМ-животных в качестве пищевого сырья следует учитывать наличие патогенных микроорганизмов. При этом при оценке пищевых продуктов, произведённых с использованием ГМ-животных, необходимо уделять внимание потенциальной опасности, связанной с возможной передачей изменённых генов условно патогенной микрофлоре кишечника.

Ограничения исследования. Исследования в области оценки потенциальных опасностей для здоровья населения при потреблении новых видов пищевых продуктов относятся только к «новой пище» животного происхождения.

Заключение. Систематический обзор релевантных источников информации, выполненный с целью определения потенциальных угроз, связанных с потреблением новых видов пищевых продуктов животного происхождения, позволяет обеспечить реализацию идентификации потенциальной опасности как первого этапа оценки риска для здоровья.

Ключевые слова: обзор; новая пища; идентификация опасности; химические опасности; биологическая ценность; насекомые; ГМО; культивированное мясо; мясо *in vitro*

Соблюдение этических стандартов. Для проведения данного исследования, выполненного на базе анализа общедоступных данных, не требовалось заключения комитета по биомедицинской этике.

Для цитирования: Шур П.З., Суворов Д.В., Зеленкин С.Е., Лир Д.Н. Идентификация потенциальной опасности потребления новых видов пищевых продуктов для здоровья населения (систематический обзор). *Гигиена и санитария*. 2023; 102(5): 495–501. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-5-495-501> <https://elibrary.ru/xaqnrz>

Для корреспонденции: Суворов Дмитрий Владимирович, науч. сотр. отд. анализа риска для здоровья ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора, Россия, 614045, Пермь. E-mail: Suvorov@fcrisk.ru

Участие авторов: Шур П.З. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Суворов Д.В. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста, редактирование; Зеленкин С.Е. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста, редактирование; Лир Д.Н. – концепция и дизайн исследования, редактирование. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 09.03.2023 / Принята к печати: 31.05.2023 / Опубликовано: 20.06.2023

Pavel Z. Shur¹, Dmitrii V. Suvorov¹, Sergey E. Zelenkin¹, Darya N. Lir^{1,2}

Identification of potential hazard of consumption of novel products to public health (systematic review)

¹Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 614045, Perm, Russian Federation;

²Perm State Medical University named after academician E.A. Wagner, Perm, 614990, Russian Federation

Introduction. Declining volumes of meat production are associated, among other things, with fight against global warming. This unavoidably stimulates the scientific community to look for alternative sources of protein. However, novel foods can pose a potential health threat for consumers.

The aim was to search for data on a potential threat for human health posed by consuming the most widely spread novel foods.

Materials and methods. To achieve that, we accomplished a systematic review of relevant information sources using PRISMA recommendations on how to perform a systemic review of research articles. Overall, we analyzed more than two thousand sources to identify their relevance to the aim of this study; ultimately 64 sources were selected for analysis.

Results. Within this review, three groups of novel foods of animal origin were identified and considered. They were the most frequently mentioned in studies investigating potential health hazards for humans. We analyzed these potential hazards caused by consuming novel foods; it was established that attention should be paid to probable changes in biological values of protein in a novel food, undeclared or unintended chemicals in it, and hyper-reactivity of the human immune system. Besides, when insect or GM-animal proteins are used as food raw materials, a probability of pathogenic microorganisms in them should not be neglected. A distinctive feature of foods manufactured from GM-animals is estimation of a potential hazard associated with probable transfer of changed genes to the opportunistic gut microflora.

Limitations. The study addressing potential health hazards posed by consumption of new foods considered only 'new food products' of animal origin.

Conclusion. The systemic review of relevant information sources was aimed to identify potential health hazards posed by consumption of novel food of animal origin and allowed fulfilling hazard identification as the first stage in health risk assessment.

Keywords: review; new foods; hazard identification; chemical hazards; biological value; insects; GMO; cultivated meat; meat in vitro

Compliance with ethical standards. This study did not require any approval of a local committee on ethics since it was accomplished by analyzing data available in open access.

For citation: Shur P.Z., Suvorov D.V., Zelenkin S.E., Lir D.N. Identification of potential hazard of consumption of novel products to public health (systematic review). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(5): 495–501. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-5-495-501> <https://elibrary.ru/xaqnpz> (In Russ.)

For correspondence: Dmitrii V. Suvorov, junior researcher of health risk analysis department of Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation. E-mail: Suvorov@fcrisk.ru

Information about authors:

Shur P.Z., <https://orcid.org/0000-0001-5171-3105> Suvorov D.V., <https://orcid.org/0000-0002-3594-2650>

Zelenkin S.E., <https://orcid.org/0000-0002-0259-5509> Lir D.N., <https://orcid.org/0000-0002-7738-6832>

Contribution: Shur P.Z., Lir D.N. — concept and design of the study, editing, approval of the final version of the article; Suvorov D.V., Zelenkin S.E. — concept and design of the study, collection and processing of material, writing text, editing, responsibility for the integrity of all parts of the article. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: March 9, 2023 / Accepted: May 31, 2023 / Published: June 20, 2023

Введение

В XXI веке вопрос об использовании новых видов пищевых продуктов в качестве альтернативного источника пищи стоит остро ввиду того, что стремительный рост населения в совокупности с глобальным потеплением стали основными причинами голода в мире. Так, экспертами ООН спрогнозирован рост населения в мире к 2050 г. до 9 млрд человек. Глобальное потепление приводит к сокращению площадей, используемых для производства пищевых продуктов, что способно привести к дефициту обеспечения пищей населения мира [1–3]. Изменение климата, а также развитие промышленности сказываются на качестве пищевых продуктов, содержании в них питательных веществ, микро- и макроэлементах [4]. В результате поиск «новой пищи» становится крайне актуальной задачей.

Термин «новая пища» (novel food) с 1997 г. закреплён в нормативных документах Агентством Европейского союза по безопасности пищевых продуктов (EFSA) и определён как недавно разработанная инновационная пища; пища, произведённая с использованием новых технологий и производственных процессов; пища, которую традиционно употребляют или употребляли в пищу за пределами Европейского союза (ЕС) [5]. В странах — членах Евразийского экономического союза принят термин «пищевая продукция нового вида», который дополнительно включает в себя описание источников сырья для производства пищевых продуктов, а также технологий их производства¹. Таким образом, в настоящей работе термины «пищевая продукция нового вида» и «новая пища» могут использоваться равнозначно.

Сегодня «новая пища» — это обширная группа, включающая в себя продукты, в состав которых входит протеин из насекомых; синтетические пищевые продукты; продукты, произведённые в лаборатории с использованием современных технологий (культивируемые мясные продукты); генно-модифицированные пищевые продукты (ГМ-продукты) животного происхождения, а также ряд других. Анализ практики внедрения «новой пищи» показал, что, например, в странах ЕС разрешено применение муки из насекомых в

качестве продовольственного сырья для производства пищевых продуктов [6], а в ряде стран (Сингапур и др.), локально используется в пищу мясо, изготовленное *in vitro* [7].

В Российской Федерации в основе продовольственной безопасности страны лежит обеспечение населения качественной и безопасной пищевой продукцией. В связи с этим при разработке новых пищевых продуктов также необходимо наличие обоснованных требований к их качеству и безопасности². Так, согласно методическим указаниям³, к генно-модифицированному сырью животного происхождения, используемому для производства пищевых продуктов, предъявляются требования химической и биологической безопасности, принятые в соответствии с действующими техническими регламентами Таможенного союза. Вместе с тем любой вид «новой пищи» должен обеспечивать безопасность не только в отношении химического или микробиологического загрязнения, но и обладать биологической ценностью белка, не приводящей к нарушениям в организме человека.

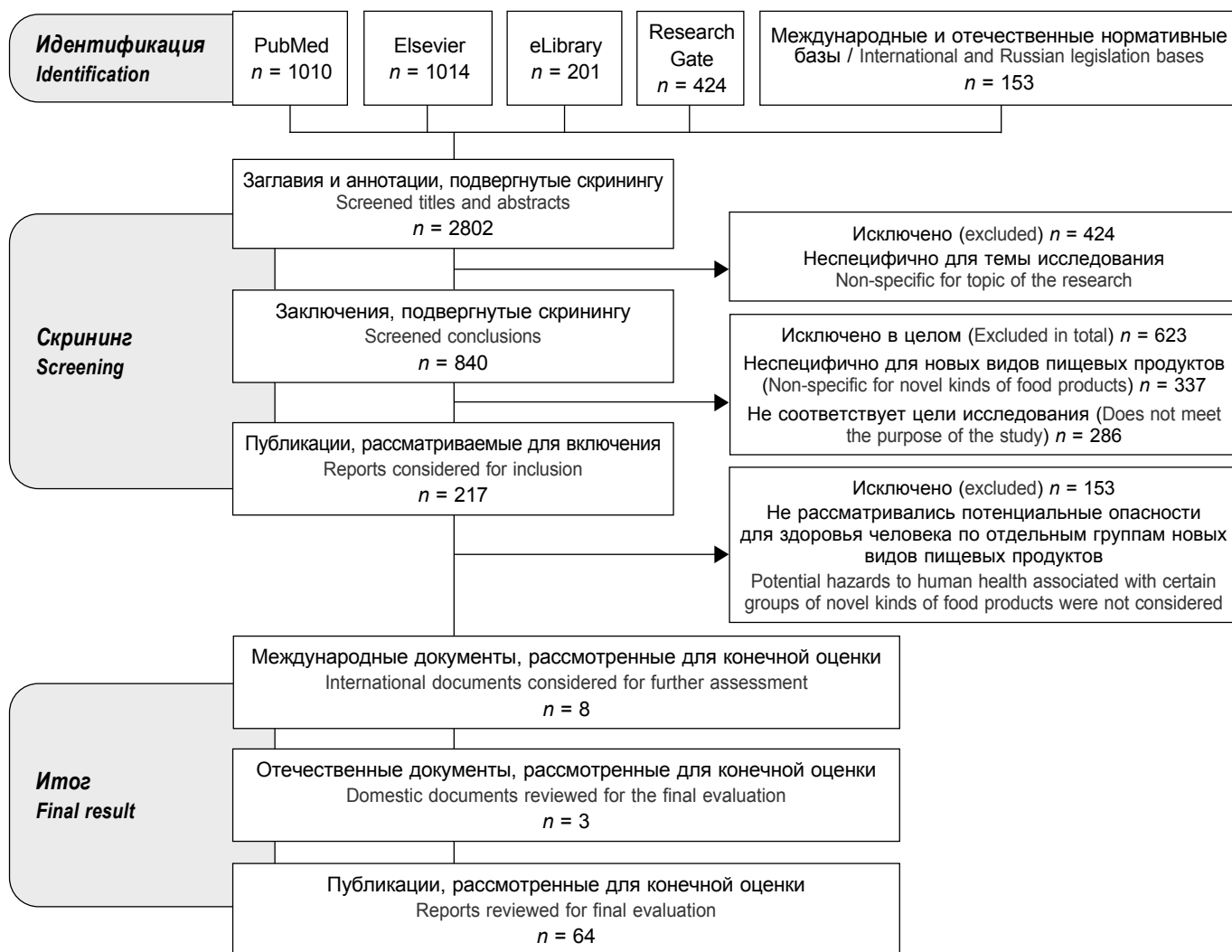
Возможное внедрение новых видов пищевых продуктов и ингредиентов в результате ускоренного развития науки, техники и торговли требует от регулирующих органов принимать упреждающий подход к оценке их безопасности [8]. При инкорпорировании новых видов пищевых продуктов необходимо учитывать как их пользу, так и потенциальные риски для здоровья потребителей. При оценке безопасности, где это возможно, в качестве ориентиров следует использовать традиционные пищевые продукты, а сам процесс оценки безопасности должен быть сосредоточен на различиях между ними и новыми видами пищевых продуктов [9].

Во избежание спекулятивного подхода к использованию новых видов пищевых продуктов, в связи с тем, что на потребительском рынке Российской Федерации отсутствуют пищевые продукты, содержащие белок насекомых, а также

¹ О качестве и безопасности пищевых продуктов. Федеральный закон от 02.01.2000 г. № 29-ФЗ (последняя редакция).

² МУ 2.3.2.3687–21.2.3.2. Гигиена. Гигиена питания. Продовольственное сырьё и пищевые продукты. Медико-биологическая оценка безопасности генно-инженерно-модифицированных организмов животного происхождения, включая рыб и птицу. Методические указания (утв. Роспотребнадзором 12.02.2021 г.).

¹ О безопасности пищевой продукции. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011.



Блок-схема выбора релевантных источников информации.
Flowchart for Selecting of Relevant Sources of Information.

продукты животного происхождения, произведённые в лаборатории, в рамках продовольственной безопасности страны⁴ необходимо предупреждать установившиеся опасности для здоровья человека, которые могут нести в себе эти пищевые продукты.

Цель работы – идентификация потенциальных опасностей для здоровья населения, связанных с потреблением новых видов пищевых продуктов животного происхождения.

Материалы и методы

Для реализации поставленной цели выполнен систематический обзор релевантных источников информации с учётом рекомендаций для проведения систематических обзоров исследований PRISMA (preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses – наиболее важные пункты для систематических обзоров и метаанализов) [10] с целью поиска информации о потенциальной опасности для здоровья человека при потреблении наиболее распространённых новых видов пищевых продуктов животного происхождения. Выбор релевантных источников литературы представлен в блок-схеме на рисунке.

⁴ Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации. Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2020 г. № 20.

Систематический обзор включал в себя статьи и нормативно-правовые документы на русском и английском языках. Запрос формулировался следующим образом: novel food; cultured meat; meat *in vitro*; protein from insects; GM-meat; genetically modified product; potential hazard; health risk; культивированное мясо; новые виды пищевых продуктов; генно-модифицированные пищевые продукты; мясо *in vitro*; белок из насекомых; потенциальная опасность; риск для здоровья. Для улучшения качества поиска релевантных источников запрос осуществлялся с применением логических операторов: AND, OR, NOT, (), «».

Результаты

В проанализированных исследованиях «новой пищи» животного происхождения наиболее часто изучаются вопросы безопасности для здоровья культивированного мяса, пищевых продуктов из белка насекомых и генетически модифицированных животных (ГМ-животных). Отмечается, что потенциальные опасности новых видов пищевых продуктов в большей степени связаны с содержанием незаявленных и непреднамеренно присутствующих химических веществ, биологических агентов, а также несбалансированностью по составу микро- и макроэлементов.

Культивированное мясо как один из видов «новой пищи» выращивается из стволовых клеток [11]. Для их интенсивно-

го деления и роста используется питательная среда, которая обеспечивает их необходимыми веществами, гормонами и факторами роста. На протяжении всего этого процесса температура среды контролируется, что позволяет достичь ускоренного развития мяса, выращенного в лаборатории [12, 13]. При этом в обзоре Munteanu и соавт. отмечена вероятность того, что для доведения мяса *in vitro* до потребительских свойств его целенаправленно обогащают витаминно-минеральными комплексами, жирами и, возможно, другими добавками, усиливающими вкусовые качества [14]. При этом отсутствуют данные о стратегии обогащения культивируемого мяса, например, витамином B₁₂ и железом, присутствующими в традиционных продуктах животного происхождения [9]. В настоящее время нет открытой информации о способности культивируемых клеток поглощать микро- и макронутриенты. Преднамеренное добавление гормонов, микро- и макроэлементов и других химических веществ в питательную среду способствует увеличению рисков повышенного содержания их в конечном продукте [9]. Одной из задач оценки риска для здоровья потребителей является изучение биологической ценности белка культивируемого мяса, обусловленной аминокислотным составом, поскольку он будет напрямую зависеть от питательной среды, на которой выращивается мясо. Например, одни питательные среды содержат 13 аминокислот (L-энантиомеров), которые будут являться незаменимыми для некоторых клеточных линий (аргинин, глутамин, цистеин, гистидин, изолейцин, лейцин, метионин, фенилаланин, треонин, триптофан, тирозин, лизин и валин), а другие – полный спектр аминокислот [15]. С учётом разнообразия путей биосинтеза, в которых участвуют аминокислоты, вероятно, что содержание их в конечном продукте будет отличаться от их первоначальной концентрации в питательной среде [16, 17]. Если предположить, что культивируемое мясо эквивалентно традиционному, то потенциальной опасностью для здоровья потребителей будут являться аллергические реакции гиперчувствительной иммунной системы на актин, миозин, тропомиозин [18]. При оценке потенциальной опасности потребления культивируемого мяса следует учитывать, что мясо, выращенное в лаборатории, производится в условиях, полностью контролируемых исследователями или производителями, без какого-либо другого организма и контакта с органами пищеварения, тогда как обычное мясо является частью животного, контактирующего с окружающей средой. Следовательно, мясо *in vitro* – это пищевой продукт, который не имеет потенциального загрязнения при убое, а культивируемые мышечные клетки не имеют возможности столкнуться с кишечными патогенами, такими как *E. coli*, *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp. [19].

В отличие от культивируемого мяса выращивание насекомых для употребления в пищу или использования в качестве сырья для производства пищевых продуктов осуществляется с применением субстрата на специализированных фермах [20]. В связи с этим потенциальные опасности для здоровья потребителя существуют на разных этапах технологического процесса и могут быть связаны с качеством используемого субстрата [21, 22]. Известны исследования, освещающие проблему биоаккумуляции металлов в насекомых, выращенных в контролируемых условиях. Метаболизм жизненно необходимых металлов, таких как медь и цинк, эффективно регулируется у насекомых, поэтому корреляции между концентрацией этих металлов в субстрате и в организме насекомого обычно не наблюдается [23–25]. Однако в отношении мышьяка (As), кадмия (Cd), ртути (Hg) и свинца (Pb) такая связь выявляется [22, 26–32]. В исследовании Purschke и соавт. по изучению биоаккумуляции Cd и Pb в личинках *H. Illucens*, показано, что количество загрязняющих веществ в организме личинок при выращивании на фермах с использованием субстрата возрастало до 9 раз по мере взросления насекомого в зависимости от элемента. Так, коэффициенты биоаккумуляции (КБА) для Cd составили $9,1 \pm 1,4$, для Pb – $2,3 \pm 0,3$ [33]. Следовательно, можно

предположить, что помимо тяжёлых металлов из субстрата в насекомых биоаккумулируют и другие потенциально опасные для человека вещества. При многоэтапности подготовки белка из насекомых следует учитывать непреднамеренно присутствующие в конечном продукте химические вещества. Например, при обработке насекомых термическим методом (варка, приготовление, выпечка) изменяется не только аминокислотный состав продукта [34], но и повышается риск образования потенциально опасных химических соединений, таких как фуран [35]. Также изменения в обработанной муке из сверчка объясняются термически индуцируемыми явлениями, такими как денатурация белка, сшивание, гликолизирование Майяра и (или) агрегация [36–38]. В отличие от культивируемого мяса использование насекомых в пищу сопряжено с потенциальными микробиологическими рисками, поскольку насекомые могут служить переносчиками патогенных для человека микроорганизмов. Необходимо различать источник и микробиологического загрязнения: передача микроорганизмов контактным путём с поверхности насекомого [39, 40] или сохранение и размножение внутри насекомого микроорганизмов, не вызывающих у него заболеваний [41]. По аналогии с производством традиционных пищевых продуктов основной причиной контаминации сырья и готовых продуктов из насекомых патогенными микроорганизмами могут являться особенности технологического процесса [42, 43], а также условия переработки насекомых и хранения конечных продуктов [44]. Наибольшее влияние на микробиоту выращенных насекомых оказывает используемый корм. Изменения в рационе насекомых обуславливают изменения в микробном составе их кишечника и, следовательно, в субстрате выращивания [43, 45, 46]. Исследования Vandeweyer и соавт. по изучению микробиоты кишечника тропического домашнего сверчка до и после кормления специализированным кормом показали, что содержащиеся в корме микроорганизмы, в частности представители видов *Porphyromonadaceae*, *Bacteroides*, *Parabacteroides*, *Erwinia* и *Fusobacterium*, которые отсутствовали до кормления в кишечнике сверчков, были впоследствии обнаружены в их теле [43]. В исследованиях Milanovic и соавт. и Osimani и соавт. показана возможность трансвариальной передачи от самки к потомству потенциальных возбудителей заболеваний [46, 47].

Кроме того, в работах Panzani и соавт. и Ooninсх и соавт. показано, что потребление продуктов из насекомых может вызывать аллергические реакции по типу экземы, ринита, конъюнктивита, ангионевротического отёка и бронхиальной астмы [48, 49].

К новым видам также относятся пищевые продукты, полученные на основе генной инженерии. В настоящее время в России хорошо изучена безопасность для здоровья ряда ГМ-растений [50, 51], однако с появлением ГМ-животных, предназначенных для употребления в пищу, этот вопрос приобретает особую актуальность. Управление по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных препаратов США (FDA) одобрило для употребления в пищу ГМ-мясо свиней линии GalSafe и лосося линии AquAdvantage. Такое решение было принято по результатам всестороннего анализа научных данных, подтвердившего, что эти ГМ-продукты соответствуют законодательным требованиям по безопасности и эффективности в соответствии с Федеральным законом США [52–55]. Употребление пищевых продуктов из ГМ-животных может представлять потенциальную опасность со стороны изменённых генов. Так, в отчёте FDA по экологической безопасности ГМ-животных отмечено, что при оценке безопасности лосося AquAdvantage были выявлены различия в инсулиноподобном факторе роста 1 (IGF-1) при сравнении с лососем-компаратором, то есть эквивалентным по составу, однако подтвердить опасность для здоровья человека при употреблении в пищу ГМ-лосося не удалось, поскольку обнаруженные концентрации IGF-1 в съедобных тканях были ниже уровней минимальной количественной оценки утверждённых химико-аналитических методик [56].

Потенциальные опасности для здоровья населения, связанные с новыми видами пищевых продуктов

Potential hazards for consumers' health associated with novel food

Вид продуктов Kind of products	Потенциальные опасности / Potential hazards associated with				
	Биологическая ценность белка Biological relevance of protein	Наличие патогенных микроорганизмов Presence of pathogenic microorganisms	Наличие незаявленных и (или) непреднамеренно присутствующих химических веществ Presence of unintended chemical substances	Гиперчувствительность иммунной системы человека Hypersensitivity of human immune system	Возможная передача изменённых генов условно патогенной микрофлоре кишечника Potent changes in genes of opportunistic intestinal microflora
ГМО Genetically modified organisms	+	+	+	+	+
Белок насекомых Protein of insects	+	+	+	+	–
Культивируемое мясо Cultured meat	+	–	+	+	–

Также из-за качественных изменений у животных, например, ускоренного роста мышечной массы, существует потенциальная опасность со стороны изменения её аминокислотного состава. В исследовании Trott и соавт. проводилась оценка аминокислотного профиля мяса ГМ-быка. Обнаружено, что в тканях ГМ-животного содержание аминокислот было количественно выше, чем в группе сравнения [57]. Преобладание или дефицит одних аминокислот в ГМ-продуктах по сравнению с содержанием аналогичных аминокислот в традиционных продуктах животного происхождения может негативно сказываться на здоровье человека [57–60].

Не менее важной потенциальной опасностью для здоровья человека при потреблении ГМ-продуктов является способность микроорганизмов формировать резистентность к антибиотикам. Так, в исследованиях Braun, Chen и соавт. показано, что существует опасность поглощения ГМ-материалов, включая гены устойчивости к антибиотикам, условно патогенной микрофлорой кишечника, поскольку ДНК не всегда полностью дефрагментируется в пищеварительной системе [61]. Это может привести к снижению эффективности антибиотиков и, следовательно, к повышению риска развития болезней, вызываемых устойчивыми к антибиотикам микроорганизмами [62].

К потенциальной опасности для здоровья потребителя ГМ-продуктов животного происхождения также относят аллергические реакции на изменённый белок. Как отмечают Eliza и соавт. в своём систематическом обзоре, не проводилось токсикологических или эпидемиологических исследований для оценки влияния потребления ГМ-продуктов на риск развития пищевой аллергии [63].

Таким образом, систематический обзор выявил сходство и различия потенциальных опасностей для здоровья населения при употреблении новых видов пищевых продуктов животного происхождения (см. таблицу).

Результатом проведённого анализа потенциальных опасностей для здоровья населения при употреблении «новой пищи» животного происхождения является обоснованная необходимость оценки изменения аминокислотного состава нового вида пищевого продукта, наличия незаявленных и (или) непреднамеренно присутствующих химических веществ, а также возможности формирования гиперреактивности иммунной системы человека. При использовании белка насекомых и ГМ-животных в качестве пищевого сырья следует дополнительно учитывать наличие опасности, обусловленной патогенными микроорганизмами. Пищевые продукты, произведённые с использованием ГМ-животных, также являются источником потенциальной опасности, связанной с возможностью передачи изменённых генов условно патогенной микрофлоре кишечника.

Обсуждение

По оценкам Tubb and Seba, к 2030 г. объёмы производства мясной промышленности в США и их поставщиков сократятся более чем на 50%, а к 2035 г. – почти на 90%, что неизбежно приведёт к применению новых видов пищевых продуктов, содержащих животный белок [50, 56, 63, 64]. При этом гипотеза о том, что «новая пища» может нести в себе потенциальную опасность для здоровья человека, подтверждается множеством исследований [14, 36, 48, 50, 56, 63]. Проведённые исследования относились к установлению потенциальных опасностей, характерных для отдельных видов «новой пищи», и авторы отмечают важность дальнейших исследований в отношении оценки риска для здоровья населения при потреблении новых видов пищевых продуктов [26, 47, 56].

Проведённый авторами систематический обзор охватывает основные виды «новой пищи» животного происхождения с установлением общих и индивидуальных особенностей при оценке потенциальных опасностей этих продуктов. Данное исследование отражает потенциал развития в области российской системы оценки безопасности не только в отношении ГМО-продукции [50], но и культивируемого мяса и белка насекомых.

Заключение

На основании анализа «новой пищи» были определены три основные группы взаимозаменяемых новых видов пищевых продуктов животного происхождения: культивируемое мясо, белок насекомых, мясо ГМ-животных. Для всех групп «новой пищи» было идентифицировано несколько видов потенциальных опасностей для здоровья потребителя. Для культивируемого мяса, белка насекомых и пищевых продуктов из ГМ-животных общими потенциальными опасностями будут незаявленные и (или) непреднамеренно присутствующие химические вещества, возможность формирования гиперчувствительности иммунной системы человека и изменения со стороны биологической ценности белка нового вида пищевого продукта. Дополнительной опасностью для пищевых продуктов из белка насекомых является наличие патогенных микроорганизмов. Кроме того, при идентификации потенциальных опасностей для ГМ-продуктов следует учитывать возможную передачу изменённых генов оппортунистическим микроорганизмам кишечника человека.

Следовательно, при возможном внедрении пищевых продуктов нового вида оценка их безопасного потребления населением должна учитывать вышеизложенные потенциальные опасности.

Литература

(п.п. 2, 4–7, 9–49, 51–64 см. References)

1. Савельева А.В. Роль продовольственной проблемы в современной мировой экономике. *Экономический журнал ВШЭ*. 2013; 17(3): 524–39. <https://www.elibrary.ru/rnlyof>
3. Никуличев Ю.В. Глобальная продовольственная проблема. М.; 2020. <https://www.elibrary.ru/gposfg>
8. Зайцева Н.В., Онищенко Г.Г., Май И.В., Шур П.З. Развитие методологии анализа риска здоровью в задачах государственного управления санитарно-эпидемиологическим благополучием населения. *Анализ риска здоровью*. 2022; (3): 4–20. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.3.01> <https://elibrary.ru/imrune>
50. Тышко Н.В., Садыкова Э.О. Генно-инженерно-модифицированная пищевая продукция: развитие российской системы оценки безопасности. *Анализ риска здоровью*. 2018; (4): 120–7. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.4.14> <https://elibrary.ru/yugsbn>

References

1. Savel'eva A.V. The role of global food problem in the modern world economy. *Ekonomicheskiy zhurnal VShE*. 2013; 17(3): 524–39. <https://elibrary.ru/rnlyof> (in Russian)
2. The European insect sector today: challenges, opportunities and regulatory landscape. IPIFF vision paper on the future of the insect sector towards 2030. International Platform of Insects for Food and Feed; 2018.
3. Nikulichev Yu.V. Global Food Problem. Moscow; 2020. <https://elibrary.ru/gposfg> (in Russian)
4. Kim T.K., Yong H.I., Kim Y.B., Kim H.W., Choi Y.S. Edible insects as a protein source: a review of public perception, processing technology, and research trends. *Food Sci. Anim. Resour.* 2019; 39(4): 521–40. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e53>
5. European Commission. Novel Food. Available at: https://food.ec.europa.eu/safety/novel-food_en
6. Commission Implementing Regulation (EU) 2023/5 of 3 January 2023 authorising the placing on the market of Acheta domesticus (house cricket) partially defatted powder as a novel food and amending Implementing Regulation (EU) 2017/2470. Available at: http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2023/5/oj
7. Singapore Food Agency. Safety of Alternative Protein. Available at: <https://www.sfa.gov.sg/food-information/risk-at-a-glance/safety-of-alternative-protein>
8. Zaytseva N.V., Onishchenko G.G., May I.V., Shur P.Z. Developing the methodology for health risk assessment within public management of sanitary-epidemiological welfare of the population. *Analiz riska zdorov'yu*. 2022; (3): 4–20. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.3.01> <https://www.elibrary.ru/imrune> (in Russian)
9. Fraeye I., Kratka M., Vandeburgh H., Thorrez L. Sensorial and nutritional aspects of cultured meat in comparison to traditional meat: much to be inferred. *Front. Nutr.* 2020; 7: 35. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00035>
10. Page M.J., McKenzie J.E., Bossuyt P.M., Boutron I., Hoffmann T.C., Mulrow C.D., et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021; 372: n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
11. Post M.J. Cultured beef: medical technology to produce food. *J. Sci. Food Agric.* 2014; 94(6): 1039–41. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6474>
12. Ben-Arye T., Levenberg S. Tissue engineering for clean meat production. *Front. Sustain. Food Syst.* 2019; 3: 46. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00046>
13. Bhat Z.F., Bhat H., Pathak V. Chapter 79 – Prospects for in vitro cultured meat – a future harvest. In: Lanza R., Langer R., Vacanti J., eds. *Principles of Tissue Engineering*. Boston, MA: Academic Press; 2014: 1663–83.
14. Munteanu C., Mireșan V., Răducu C., Iuțu A., Uiuțu P., Pop D., et al. Can cultured meat be an alternative to farm animal production for a sustainable and healthier lifestyle? *Front. Nutr.* 2021; 8: 749298. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.749298>
15. D'Este M., Alvarado-Morales M., Angelidaki I. Amino acids production focusing on fermentation technologies – A review. *Biotechnol. Adv.* 2018; 36(1): 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.09.001>
16. Quiroga-Campano A.L., Panoskaltis N., Mantalaris A. Energy-based culture medium design for biomanufacturing optimization: A case study in monoclonal antibody production by GS-NS0 cells. *Metab. Eng.* 2018; 47: 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2018.02.013>
17. Hosios A.M., Hecht V.C., Danai L.V., Johnson M.O., Rathmell J.C., Steinhäuser M.L., et al. Amino acids rather than glucose account for the majority of cell mass in proliferating mammalian cells. *Dev. Cell.* 2016; 36(5): 540–9. <https://doi.org/10.1016/j.devcel.2016.02.012>
18. Restani P., Ballabio C., Tripodi S., Fiocchi A. Meat allergy. *Curr. Opin. Allergy. Clin. Immunol.* 2009; 9(3): 265–9. <https://doi.org/10.1097/ACI.0b013e32832aef3d>
19. Shapiro P. Clean meat: how growing meat without animals will revolutionize dinner and the world. *Science*. 2018; 359(6374): 399. <https://doi.org/10.1126/science.aas8716>
20. Gahukar R.T. Edible Insects farming: efficiency and impact on family livelihood, food security, and environment compared with livestock and crops. In: *Insects as Sustainable Food Ingredients. Production, Processing and Food Applications*. Academic Press; 2016: 85–111. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802856-8.00004-1>
21. EFSA Scientific Committee. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA J.* 2015; 13(10): 4257. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4257>
22. van der Fels-Klerx H.J., Camenzuli L., van der Lee M.K., Ooninx D.G. Uptake of cadmium, lead and arsenic by Tenebrio molitor and Hermetia illucens from contaminated substrates. *PLoS One*. 2016; 11(11): e0166186. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166186>
23. Mwangi M.N., Ooninx D.G.A.B., Stouten T., Veenenbos M., Melse-Boonstra A., Dicke M., et al. Insects as sources of iron and zinc in human nutrition. *Nutr. Res. Rev.* 2018; 31(2): 248–55. <https://doi.org/10.1017/S0954422418000094>
24. Maryański M., Kramarz P., Laskowski R., Niklińska M. Decreased energetic reserves, morphological changes and accumulation of metals in carabid beetles (*Poecilus cupreus* L.) exposed to zinc- or cadmium-contaminated food. *Ecotoxicology*. 2002; 11(2): 127–39. <https://doi.org/10.1023/a:1014425113481>
25. Devkota B., Schmidt G.H. Accumulation of heavy metals in food plants and grasshoppers from the Taigetos Mountains, Greece. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2000; 78(1): 85–91. [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(99\)00110-3](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(99)00110-3)
26. Handley M.A., Hall C., Sanford E., Diaz E., Gonzalez-Mendez E., Drace K., et al. Globalization, binational communities, and imported food risks: results of an outbreak investigation of lead poisoning in Monterey County, California. *Am. J. Public Health*. 2007; 97(5): 900–6. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2005.074138>
27. Jamil K., Hussain S. Biotransfer of metals to the insect *Neochetina eichhorniae* via aquatic plants. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1992; 22: 459–63. <https://doi.org/10.1007/bf00212568>
28. Lindqvist L., Block M. Excretion of cadmium during moulting and metamorphosis in *Tenebrio molitor* (Coleoptera; Tenebrionidae). *Comp. Biochem. Physiol. C*. 1995; 111(2): 325–8. [https://doi.org/10.1016/0742-8413\(95\)00057-U](https://doi.org/10.1016/0742-8413(95)00057-U)
29. Miček J. Detection of selected heavy metals and micronutrients in edible insect and their dependency on the feed using XRF spectrometry. *Potravnarsko Slovack J. Food Sci.* 2017; 11: 725–30. <https://doi.org/10.5219/850>
30. Bednarska A.J., Opyd M., Żurawicz E., Laskowski R. Regulation of body metal concentrations: Toxicokinetics of cadmium and zinc in crickets. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2015; 119: 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.04.056>
31. Diener S., Studt Solano N.M., Roa Gutiérrez F., Zurbrügg C., Tockner K. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste Biomass Valor.* 2011; 2: 357–63. <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1>
32. de Carvalho N.M., Madureira A.R., Pintado M.E. The potential of insects as food sources – a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2020; 60(21): 3642–52. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1703170>
33. Purschke B., Scheibelberger R., Axmann S., Adler A., Jäger H. Impact of substrate contamination with mycotoxins, heavy metals and pesticides on the growth performance and composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) for use in the feed and food value chain. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control. Expo. Risk Assess.* 2017; 34(8): 1410–20. <https://doi.org/10.1080/19440049.2017.1299946>
34. Pan J., Xu H., Cheng Y., Mintah B.K., Dabbour M., Yang F., et al. Recent insight on edible insect protein: extraction, functional properties, allergenicity, bioactivity, and applications. *Food. 2022*; 11(19): 2931. <https://doi.org/10.3390/foods11192931>
35. Montowska M., Kowalczyński P., Rybicka I., Fornal E. Nutritional value, protein and peptide composition of edible cricket powders. *Food Chem.* 2019; 289: 130–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.062>
36. Limacher A., Kerler J., Davidek T., Schmalzried F., Blank I. Formation of furan and methylfuran by maillard-type reactions in model systems and food. *J. Agric. Food Chem.* 2008; 56(10): 3639–47. <https://doi.org/10.1021/jf800268t>
37. Limacher A., Kerler J., Conde-Petit B., Blank I. Formation of furan and methylfuran from ascorbic acid in model systems and food. *Food Addit. Contam. 2007*; 24(Suppl. 1): 122–35. <https://doi.org/10.1080/02652030701393112>
38. David-Birman T., Raften G., Lesmes U. Effects of thermal treatments on the colloidal properties, antioxidant capacity and in-vitro proteolytic degradation of cricket flour. *Food Hydrocoll.* 2018; 79: 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.044>
39. Wasala L., Talley J.L., Desilva U., Fletcher J., Wayadande A. Transfer of *Escherichia coli* O157:H7 to spinach by house flies, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). *Phytopathology*. 2013; 103(4): 373–80. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-12-0217-FI>
40. Graczyk T.K., Knight R., Tamang L. Mechanical transmission of human protozoan parasites by insects. *Clin. Microbiol. Rev.* 2005; 18(1): 128–32. <https://doi.org/10.1128/CMR.18.1.128-132.2005>
41. Strother K.O., Steelman C.D., Gbur E.E. Reservoir competence of lesser mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) for *Campylobacter jejuni* (Campylobacteriales: Campylobacteraceae). *J. Med. Entomol.* 2005; 42(1): 42–7. <https://doi.org/10.1093/jmedent/42.1.42>
42. Dossey A., Morales-Ramos J.A., Guadalupe R.M. *Insects as Sustainable Food Ingredients: Production, Processing and Food Applications*. London: Academic Press; 2016. <https://doi.org/10.1016/c2014-0-03534-4>
43. Vandeweyer D., Wynants E., Crauwels S., Verreth C., Viane N., Claes J., et al. Microbial dynamics during industrial rearing, processing, and storage of tropical house crickets (*Grylodes sigillatus*) for human consumption. *Appl. Environ. Microbiol.* 2018; 84(12): e00255-18. <https://doi.org/10.1128/AEM.00255-18>
44. ANSES (French Agency for Food, Environmental and Occupational Health and Safety). Opinion on the use of insects as food and feed and the review of scientific

Review article

- knowledge on the health risks related to the consumption of insects; 2015. Available at: <https://www.anses.fr/en/documents/BIORISK2014sa0153EN.pdf>
45. Wynants E., Crauwels S., Verreth C., Gianotten N., Lievens B., Claes J., et al. Microbial dynamics during production of lesser mealworms (*Alphitobius diaperinus*) for human consumption at industrial scale. *Food Microbiol.* 2018; 70: 181–91. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.09.012>
 46. Osimani A., Milanović V., Cardinali F., Garofalo C., Clementi F., Pasquini M., et al. The bacterial biota of laboratory-reared edible mealworms (*Tenebrio molitor* L.): From feed to frass. *Int. J. Food Microbiol.* 2018; 272: 49–60. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.03.001>
 47. Osimani A., Milanović V., Cardinali F., Garofalo C., Clementi F., Ruschioni S., et al. Distribution of transferable antibiotic resistance genes in laboratory-reared edible mealworms (*Tenebrio molitor* L.). *Front. Microbiol.* 2018; 9: 2702. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02702>
 48. Oonincx D.G., Dierenfeld E.S. An investigation into the chemical composition of alternative invertebrate prey. *Zoo Biol.* 2012; 31(1): 40–54. <https://doi.org/10.1002/zoo.20382>
 49. Panzani R.C., Ariano R. Arthropods and invertebrates allergy (with the exclusion of mites): the concept of panallergy. *Allergy.* 2001; 56(Suppl. 69): 1–22. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2001.tb04419.x>
 50. Tyshko N.V., Sadykova E.O. Genetically modified food products: development of safety assessment system in Russia. *Analiz riska zdorov'yu.* 2018; (4): 120–7. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.4.14.eng> <https://elibrary.ru/yrrumw>
 51. Tutelyan V.A. Genetically Modified Food Sources. Safety Assessment and Control. Elsevier Inc.; 2013. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-405878-1.00011-2>
 52. FDA. FDA Approves First-of-its-Kind Intentional Genomic Alteration in Line of Domestic Pigs for Both Human Food, Potential Therapeutic Uses. Available at: <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-approves-first-of-its-kind-intentional-genomic-alteration-line-domestic-pigs-both-human-food>
 53. FDA. Statement from FDA Commissioner Scott Gottlieb, M.D., on continued efforts to advance safe biotechnology innovations, and the deactivation of an import alert on genetically engineered salmon. Available at: <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/statement-fda-commissioner-scott-gottlieb-md-continued-efforts-advance-safe-biotechnology>
 54. Preliminary Finding of No Significant Impact (FONSI) for AquAdvantage Salmon. U.S. Food and Drug Administration; 2012. Available at: <https://www.fda.gov/media/93823/download>
 55. Draft Amended Environmental Assessment for Production of AquAdvantage Salmon at the Bay Fortune and Rollo Bay Facilities on Prince Edward Island, Canada. U.S. Food and Drug Administration; 2022. Available at: <https://www.fda.gov/media/163153/download>
 56. Trott J.F. Animal health and food safety analyses of six offspring of a genome-edited hornless bull. *GEN Biotechnology.* 2022; 1(2): 192–206. <https://doi.org/10.1089/genbio.2022.0008>
 57. Boisen S., Hvelplund T., Weisbjerg M.R. Ideal amino acid profiles as a basis for feed protein evaluation. *Livest. Prod. Sci.* 2000; 64(2): 239–51. [https://doi.org/10.1016/s0301-6226\(99\)00146-3](https://doi.org/10.1016/s0301-6226(99)00146-3)
 58. Han Y., Suzuki H., Parsons C.M., Baker D.H. Amino acid fortification of a low-protein corn and soybean meal diet for chicks. *Poult. Sci.* 1992; 71(7): 1168–78. <https://doi.org/10.3382/ps.0711168>
 59. Waldroup P.W., Mitchell R.J., Payne J.R., Hazen K.R. Performance of chicks fed diets formulated to minimize excess levels of essential amino acids. *Poult. Sci.* 1976; 55(1): 243–53. <https://doi.org/10.3382/ps.0550243>
 60. Herrmann K., Somerville R.L., eds. *Amino Acids: Biosynthesis and Genetic Regulation. Volume 3. Reading.* Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, Inc; 1983.
 61. European Federation of Biotechnology. Braun R. Antibiotic Resistance Markers in Genetically Modified (GM) Grops. Task Group On Public Perceptions of Biotechnology; 2001. Available at: <https://studyres.com/doc/622827/antibiotic-resistance-markers-in-genetically-modified-gm>
 62. Chen I.C., Thiruvengadam V., Lin W.D., Chang H.H., Hsu W.H. Lysine racemase: a novel non-antibiotic selectable marker for plant transformation. *Plant. Mol. Biol.* 2010; 72(1-2): 153–69. <https://doi.org/10.1007/s11103-009-9558-y>
 63. Dunn S.E., Vicini J.L., Glenn K.C., Fleischer D.M., Greenhawt M.J. The allergenicity of genetically modified foods from genetically engineered crops: A narrative and systematic review. *Ann. Allergy Asthma Immunol.* 2017; 119(3): 214–22.e3. <https://doi.org/10.1016/j.anai.2017.07.010>
 64. A RethinkX Sector Disruption Report. *Rethinking Food and Agriculture 2020–2030.* Birmingham, UK: RethinkX; 2019.