

**РАЗДЕЛ I.
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ
РАЗВИТИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

**ГЛАВА 1.
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПИЩЕВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ: СОЦИАЛЬНО-ЭТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ**

Смыков Игорь Тимофеевич

д.т.н., главный научный сотрудник

ВНИИМС – филиал ФГБНУ

«ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Аннотация: В этой главе рассматривается влияние социально-этических проблем на принятие потенциальными потребителями новых пищевых продуктов и проблем производителей этих продуктов при внедрении инновационных технологий. Рассмотрены причины возникновения неохоты к инновационным технологиям пищевой промышленности на конкретных примерах использования нанотехнологий, технологий генной модификации, обработки ионизирующим излучением и электромагнитными полями, а также пищевой 3D-печати. Отмечено, что общественность, мало осведомлена об инновационных пищевых технологиях, в то время как её отношение зависит от того, как эти технологии используются и пропагандируются. Надлежащее информирование общества имеет решающее значение для долгосрочного успеха внедрения и развития инновационных технологий в пищевой промышленности. Показано что современное интенсивное развитие информационных технологий совместно с синергетической совокупностью инновационных пищевых технологий, позволяет совершить постепенный переход к производству **персонализированных цифровых пищевых систем**, обладающих функциональностью, хорошим вкусом, безопасностью при минимальном отрицательном воздействии на окружающую среду.

Ключевые слова: пищевые системы, инновационные технологии, неофобия, нанотехнологии, генная модификация, ионизирующее излучение, 3D-печать, безопасность, риски.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF THE FOOD INDUSTRY: SOCIO-ETHICAL PROBLEMS

Smykov Igor Timofeevich

Abstract: In this Chapter consider the impact of socio-ethical problems on the acceptance of new food products by potential consumers and the issues of manufacturers of these products when introducing innovative technologies. The causes of neophobia of innovative technologies in the food industry are considered on specific examples of the use of nanotechnology, genetic modification technologies, ionization and processing by electromagnetic fields, as well as 3D food printing. It is noted that the public is little aware of innovative food technologies, while its attitude depends on how these technologies are used and promoted. Proper public information is critical to the long-term success of introducing and developing innovative technologies in the food industry. It is shown that the modern intensive development of information technologies, together with a synergistic set of innovative food technologies, allows making a gradual transition to the production of **personalized digital food systems** that have functionality, good taste, and safety with minimal negative impact on the environment.

Key words: food systems, innovative technologies, neophobia, nanotechnologies, genetic modification, 3D printing, safety, risks.

Разработка и начало коммерческого использования инновационных технологий в промышленности всегда наталкивается на различного рода проблемы и постоянно сопровождается ими. Существуют проблемы объективные: технические, технологические, экономические и т. д., но присутствуют и субъективные проблемы – социально-этические, и к ним, в первую очередь, относится неофобия.

Неофобия, по определению, это страх перед всем новым, непривычным. Это чувство, иногда перерастающее в проблему, в той или иной мере присуще любому человеку. Потребитель, увидев новый продукт, сомневается в его безопасности, качестве и необходимости приобретения, а это создаёт проблемы для производителя, которому необходим хороший сбыт продукта. В свою очередь и у производителя нового продукта или при переходе на новую технологию производства на определенном этапе также возникает неофобия, обусловленная неопределенностью успешности освоения новой технологии или сбыта нового продукта.

Новые пищевые технологии чрезвычайно важны для продовольственной безопасности и устойчивости развития. Однако производственники и потребители часто не решаются их принять. Обзорная работа [1] описывает, как эвристика и индивидуальные различия среди потребителей влияют на принятие агропродовольственных технологий. Ассоциации, вызываемые пищевой технологией, ее воспринимаемая натуральность и доверие к отрасли, использующей ее, влияют на принятие потребителями. Пищевая неофобия, чувствительность к отвращению и культурные ценности являются решающими личностными факторами для объяснения индивидуальных различий. Используя в качестве примеров генные технологии, нанотехнологии, культивируемое мясо и облучение пищевых продуктов, авторы работы изучают факторы, которые могут объяснить принятие или неприятие потребителями этих технологий.

На коммерциализацию инновационных пищевых технологий оказывают влияние и продовольственные неофобии. Люди отличаются степенью своей пищевой неофобии – это нежелание пробовать и употреблять новые продукты [2]. Некоторые люди с большим удовольствием едят новые продукты, а другие демонстрируют сильное отвращение к ним. Продовольственная неофобия считается своего рода защитным механизмом, предотвращающим потребление потенциально опасных продуктов [3], поскольку токсикологическая природа опасности, вероятность воздействия и риск для потребителей от некоторых новых пищевых технологий в значительной степени неизвестны.

Для потребителей производство продуктов питания все чаще становится черным ящиком. Преобладание полуфабрикатов с высокой степенью переработки и снижение навыков приготовления пищи еще больше отдаляют многих потребителей от того, как производятся продукты питания и как готовятся блюда. Если технология рассматривается как неестественная, ужасная и неконтролируемая, и если люди не знакомятся с ней добровольно, ее принятие, как правило, низкое. Факторы, связанные с конкретной личностью, дополнительно влияют на восприятие технологии. Однако факторы, которые являются наиболее важными для неприемлемости продуктов, различаются в зависимости от используемых пищевых технологий. Во многих развитых странах, натуральность продуктов питания высоко ценится, потому что безопасность пищевых продуктов считается гарантированной. Эвристика «натуральность лучше» особенно актуальна для принятия людьми новых пищевых технологий и для их оценки продуктов питания.

Продвижение к более устойчивой, более надежной и безопасной продовольственной системе трудно представить без всё новых и новых пищевых технологий. Таким образом, общий скептицизм в отношении инновационных технологий в области пищевых продуктов останется долгосрочной проблемой. Основной вопрос заключается в том, с какой целью применена технология, а не в том, используется ли инновационная технология. Общество должно двигаться в сторону более здорового питания, но пищевые технологии должны быть частью этой тенденции, а не восприниматься как барьер.

Целью пищевой промышленности сегодня является производство более безопасных, питательных и вкусных продуктов, а также увеличение срока их хранения. Потребители с определённым недоверием относятся к способам производства, приготовления и обработки пищевых продуктов, особенно с возможными загрязнителями или химическими остатками от производства. Зачастую производители продуктов питания не считаются надежными источниками. Частично это может быть связано с нежеланием производителей делиться всей информацией производства продуктов и необходимостью

защищать интеллектуальную собственность с помощью патентов и, таким образом, сохранять конкурентное преимущество. Для повышения доверия необходимо лучше информировать потребителя о том, каким операциям подвергаются задействованные ингредиенты и почему.

Инновационные технологии обработки пищевых продуктов сталкиваются с проблемами при внедрении, и факторы, влияющие на принятие потребителями и другими заинтересованными сторонами, должны быть учтены в процессе принятия решений при внедрении этих технологий. Следует учитывать, что восприятие рисков потребителями отличается от оценок рисков, сделанных экспертами. Опасения потребителей по поводу внедрения все большего числа новых технологий, заставляют промышленность проявлять осторожность, граничащую с неохотой, даже если эти технологии позволяют производить продукцию более высокого качества с меньшим воздействием на окружающую среду.

Изошренность обработки пищевых продуктов повышает удобство для потребителей, расширяет выбор диет и предлагает различные органолептические свойства для удовлетворения желаний и потребностей потребителей. Тем не менее, доверие потребителей к пищевой промышленности остаётся крайне низким, что, по мнению ряда авторов [4], обусловлено отсутствием прозрачности в отношении того, как готовятся и обрабатываются продукты питания. Внедрение технологий, при которых из-за недостатка знаний потребители не могут оценивать риски по сравнению с преимуществами (например, облучение), подрывает доверие к пищевой промышленности, способствуя позиционированию потребителями «сверхобработанных» пищевых продуктов как вредных для здоровья человека. Любые заявления о том, что использование обработки пищевых продуктов и/или улучшение их вкусовых качеств путем применения инновационных технологий вызывает озабоченность у потребителей по поводу безопасности продуктов. Такие заявления должны быть подтверждены научно достоверным образом, производители продуктов питания должны приложить усилия, чтобы потребители знали, как их продукты обрабатываются в стенах предприятия.

Уровень влияния неофобии пищевых технологий, социально-экономических переменных, информации о новых продуктах питания и используемых технологий на отношение потребителей к использованию пищевых продуктов в отношении положительного воздействия на окружающую среду и здоровье потребителей рассмотрен в работе [5]. Подчеркнуто, что образование и, прежде всего, неофобия пищевых технологий и информация являются критическими факторами, препятствующими широкому внедрению новых пищевых технологий и предотвращению провала инноваций в маркетинговых стратегиях.

Важными детерминантами восприятия риска, связанного с новыми пищевыми продуктами, являются дихотомические оценки потенциальных опасностей: технологическое или естественное происхождение; острое или хроническое проявление [6]. В этой работе представлен анализ результатов тематического исследования, в котором изучается, как оценки опасности влияют на восприятие риска и пользы людьми, а также на связанные с ними отношения и поведение. Анализ случаев острого и хронического аспектов показывает, что количественная оценка взаимосвязи между восприятием риска и последствиями важна как для острой, так и для хронической безопасности пищевых продуктов. Технологии, применяемые в производстве продуктов питания, как правило, потенциально связаны с более высоким уровнем восприятия риска, связанным с его восприятием как неестественного. Однако для некоторых рисков (например, связанных с биологической необратимостью) моральные или этические соображения могут быть более важными факторами, определяющими реакцию потребителей, чем восприятие риска или выгоды.

Основная цель этой обзорной работы состоит в рассмотрении социально-этических проблем и возникающих при этом неофобий на конкретных примерах инновационных технологий пищевой промышленности, которые могут иметь большее значение для принятия потребителями новых пищевых продуктов.

Нанотехнологии

Пищевые нанотехнологии развиваются как быстро растущая отрасль с ее широким применением от первичного производства продуктов питания на уровне сельского хозяйства, до пищевого производства, упаковки и транспортировки готовых продуктов [7, 8]. Нанотехнологии постоянно развиваются как широкая область исследований в процессах эффективной переработки сырья, разработке функциональных продуктов, консервировании продуктов, их упаковке и хранения. Производители продуктов питания при надлежащем использовании достижений в нанотехнологиях могут получить конкурентные позиции на рынках сбыта.

Тенденции в области нанотехнологий обсуждаются в работе [9], также здесь рассматриваются задачи и перспективные возможности в пищевой промышленности, выявленные в недавних исследованиях. Обсуждаются токсикологические основы и оценка рисков использования наноматериалов в новых пищевых продуктах. Подчеркнута потенциальная перспектива применения биосинтезированных и биоинспирированных наноматериалов для устойчивого развития отрасли.

Различные формы наноинженерных структур, применяемых в пищевых нанотехнологиях для регулирования характеристик ингредиентов и готовых продуктов и их применение, рассмотрены в работе [10]. Отмечено, что целенаправленно созданные наноструктуры улучшают растворимость пищевых ингредиентов *in vivo*, а также повышают их биодоступность и контролируемое высвобождение в целевом месте. Такие наноструктуры также могут служить в качестве агентов, препятствующих слипанию, систем доставки нутрицевтиков и т. д.

Характеристики современных пищевых нанотехнологий, а также их существующие и возможные будущие применения, освещаются в обзорной работе [11]. Указывается, что по мере развития исследований в области пищевых нанотехнологий возрастает озабоченность общественности по поводу безопасности таких товаров, предназначенных для потребления и использования человеком. В результате перед коммерциализацией продуктов, произведённых с использованием нанотехнологий, требуется тщательная оценка потенциальных рисков для здоровья человека и окружающей среды.

В работе [12] кратко излагаются особенности «зеленых» наноматериалов, их воздействие на окружающую среду, юридические вопросы, вопросы здравоохранения и безопасности, а также их назначение в сельскохозяйственном секторе. Социально-этические и экологические проблемы, риски для здоровья и безопасности, проблемы, связанные с получением товаров через промежуточных потребителей, и требования рынка могут преобладать при производстве и создании зеленых наноматериалов.

В обзоре [13] рассматриваются текущие применения нанотехнологий для упаковки, обработки и повышения пищевой ценности и срока годности пищевых продуктов. Последние достижения в области нанотехнологий, призваны обеспечить инновационные применения в пищевой промышленности. Эти устройства из наноматериалов играют важную роль в пищевой промышленности, в том числе при упаковке, обработке и хранении продуктов питания. Наноматериалы также увеличивают срок хранения пищевых продуктов, защищая их от влаги, газов и липидов. Нанотехнологии все еще имеют большой потенциал, и исследуются новые области применения в различных областях пищевой промышленности. Ясно, что возникают проблемы с безопасностью и их необходимо будет тщательно рассмотреть и решить в будущем.

В работе [14] рассматриваются вопросы понимания и поддержки усилий, направленных на реализацию «ответственных инноваций». Отмечается, что «ответственные инновации» характеризуются четырьмя интегрированными аспектами: предвосхищением, рефлексивностью, включением и реагированием.

Общее беспокойство исследователей относительно потенциальных негативных последствий использования пищевых нанотехнологий для здоровья человека и окружающей среды [15], привлекает внимание общественности. Публикации, связанные с такими исследованиями, привели к появлению в средствах массовой информации сенсационных сообщений о возможных негативных последствиях использования нанотехнологий для здоровья и, как следствие, их негативному восприятию потенциальными потребителями. Очевидно, что эта социальная проблема должна быть решена

до начала коммерческой эксплуатации планируемой пищевой нанотехнологии и выхода на рынки готовой продукции.

Действительно, негативное воздействие наноматериалов может быть вредным для производителя продукции, для её потребителя и окружающей среды и может увеличить потенциальные риски. По этой причине необходима оценка потенциальных рисков, возникающих в результате взаимодействия наноматериалов с биологическими системами, людьми и окружающей средой [16, 17, 18].

Использование наноудобрений и нанопестицидов в сельскохозяйственном производстве может обеспечить целевое и контролируемое высвобождение агрохимикатов с целью достижения их максимальной биологической эффективности без передозировки. Однако это вызывает беспокойство у сельскохозяйственных рабочих, которые могут подвергаться воздействию таких ксенобиотиков во время своей работы. Те ограниченные знания рабочих о биобезопасности наноматериалов, неблагоприятных воздействиях, их судьбе и приобретенной биологической реактивности после распространения в окружающей среде не обеспечивают необходимой защиты и требуют тщательной оценки возможных нано-сельскохозяйственных рисков. Поэтому определение опасности наноматериалов и уровней их воздействия необходимо на протяжении всего жизненного цикла продуктов, а также оценка тех физико-химических характеристик, которые влияют на токсичность наноматериалов и возможные взаимодействия с сопутствующими агентами агросистем [19, 20].

Пищевые нанотехнологии могут позволить модифицировать многие характеристики пищи, такие как внешний вид, вкус, аромат, текстура, прочность окраски, обрабатываемость и стабильность в течение срока годности, что приводит к созданию большого количества новых пищевых продуктов. Нанотехнологии также могут улучшить растворимость продукта в воде, термостабильность и оральную биодоступность различных функциональных соединений [21, 22, 23, 24]. Понимая потенциальность нанотехнологий, ведущие мировые компании пищевой промышленности всё больше интересуются исследованиями и разработками в области

нанотехнологий, которые реализуются благодаря их крупным инвестициям в нанотехнологии.

Вместе с тем, растет озабоченность по поводу того, что использование наноматериалов в пищевой промышленности может привести к тому, что наночастицы получают доступ к тканям в организме человека, что приведет к накоплению токсичных загрязнителей и, следовательно, неблагоприятно скажется на здоровье человека [25]. При производстве пищевых продуктов животного происхождения существует несколько возможностей для использования нанотехнологий – в животноводстве, переработке продуктов животноводства, производстве пищевых продуктов их упаковки и хранении. Прямое использование наноматериалов на различных этапах производства пищевых продуктов, а также поглощение из окружающей среды может привести к присутствию таких наноматериалов в конечном продукте. Аэрозольные наноматериалы могут попадать в организм человека через лёгкие, а наноматериалы в виде жидкостей и гелей могут попадать в организм через кожные покровы и слизистые оболочки, что представляет собой возможные долгосрочные риски для здоровья потребителей и рабочих в профессиональных ситуациях.

Пока наночастицы остаются связанными, их воздействие ограничено или очень низкое. Однако миграция наночастиц, включенных в пищевой материал, является высоким риском для человека. Исследования показали, что наночастицы, характеризующиеся повышенной реакционной способностью и большей способностью пересекать мембранные барьеры и капилляры, могут приводить к различным токсико-кинетическим и токсико-динамическим нарушениям. Некоторые наночастицы взаимодействуют с белками и ферментами, что приводит к разрушению митохондрий и вызывает апоптоз после введения наночастиц [26]. Промежуточные вещества, образующиеся в динамическом процессе трансформации наноматериалов, увеличивают сложность оценки их токсичности [27].

Исследование [28] пытается связать уровень пищевой неофобии, как личностной черты, по которой люди могут быть разделены с точки зрения их склонности принимать или избегать новых продуктов, с принятием

нанотехнологий, применяемых для производства продуктов питания. Отмечается, что потребители демонстрируют определенное нежелание покупать продукты, произведенные с использованием нанотехнологий. Пищевые нанотехнологии чрезвычайно сложны и с нерешительными потребителями этого может быть достаточно, чтобы помешать реализации их преимуществ [29, 30].

Хотя предлагаемые приложения нанотехнологий широки и разнообразны, все разработки встречаются с некоторой осторожностью, в то время как прогресс в использовании нанотехнологий может быть затруднён из-за отсутствия эффективного управления и потенциальных рисков [31]. В связи с этим для оценки рисков производителей и потребителей необходимы доступные и эффективные аналитические методы обнаружения и характеристики наноматериалов в сложных пищевых матрицах и их токсикологические данные [32].

Проблема методологии оценки безопасности наноматериалов находится в центре внимания многих международных и национальных организаций, в том числе Комиссии Европейского союза. В конце 2018 года Европейское управление по безопасности пищевых продуктов (European Food Safety Authority) разработало новое "Руководство по оценке риска применения нанонауки и нанотехнологий в пищевой и кормовой цепях: Часть 1, здоровье человека и животных" [33]. Это руководство учитывает новые разработки, которые произошли с момента публикации предыдущего Руководства в 2011 году. Оценка риска использования наноматериалов и нанотехнологий содержит четыре основных компонента: идентификация опасности, характеристика опасности, оценки воздействия и характеристики риска. Наноматериал может быть чрезвычайно опасным, но иметь небольшой потенциальный риск при низкой экспозиции, и риск может быть большим, когда наноматериал имеет ограниченную опасность, но высокую экспозицию.

Риски коммерциализации нанотехнологий в пищевой промышленности не ограничиваются только рисками для здоровья человека и окружающей среды. Не меньшее значение имеют социально-культурные и исторические условия, которые определяют отношение людей к новым технологиям и их

применениям и являются важными детерминантами успешного внедрения и коммерциализации нанотехнологий [34]. Важно обращать внимание на общественное мнение относительно нанотехнологий в пищевом бизнесе на этапе разработки продукта, чтобы избежать некоторых подводных камней, которые были при развитии технологии генной модификации организмов [35, 36].

Дать основу для оценки концептуальных рисков, в том числе социально-этических, при использовании наноматериалов и нанотехнологий в производстве пищевых продуктов может только тщательное рассмотрение последствий их использования в каждом конкретном случае на этапе разработки, прежде чем продукты будут размещены на рынке.

Широкое использование нанотехнологий и наноматериалов в пищевой промышленности необходимо рассматривать как развитие современных технологий с дальнейшим значительным ростом. Ожидается, что продукты питания и их упаковка, полученные с использованием нанотехнологий, будут все более доступны и востребованы потребителями во всем мире в ближайшие годы.

Технологии генетической модификации

В пищевой промышленности всё больше используются сельскохозяйственная продукция, сырьё и различные ингредиенты, полученные с использованием технологий генной модификации. Использование таких технологий в России регулируется федеральным законом №86-ФЗ, 1996 г. «О государственном регулировании в области генно-инженерной деятельности», принятым в 1996 г. Однако в настоящее время всё большее распространение получают технологии генного редактирования (ГР), никак не регламентированные этим законом.

Технология редактирования генома быстро распространяется и революционизирует различные области сельского хозяйства и пищевой промышленности. В отличие от традиционной ГМ-технологии, которая добавляет чужеродную ДНК в организм реципиента, редактированием генома заменяют мутировавшие или иным образом нежелательные основания ДНК,

что необходимым образом изменяет общую пригодность, продуктивность, качество и полезность реципиента. При этом практически невозможно определить, редактировалась ли ДНК растения или животного, потому что происходящие изменения неотличимы от естественных мутаций.

Различные регулирующие органы объявляют эти «отредактированные» организмы и пищевые продукты безопасными, и они освобождаются от требований тестирования и маркировки. Однако противники ГМ-технологий высказываются против этих форм генетической модификации. В обзоре [37] обсуждаются текущие данные о глобальном и европейском внедрении ГР-культур, а также о потенциальном влиянии новой волны развития сельскохозяйственных культур на сельское хозяйство. Оценивается то, как Европейский союз (ЕС) рассматривает ГМ-культуры, и рассматривается будущее как генетической модификации, так и редактирования генома в ЕС.

Технологии редактирования генома могут помочь решить проблемы устойчивого развития, глобальной продовольственной безопасности и изменения климата. Однако, несмотря на их потенциал, внедрение этих новых технологий замедлилось из-за неопределенности, связанной с законодательным регулированием культур с отредактированным геномом. Вводящие в заблуждение онлайн-статьи, ставящие под сомнение безопасность и этичность этих «новых» биотехнологических продуктов питания, также могут привести к тому, что потребители не захотят их принимать. Следовательно, неоднозначное отношение Европы к биотехнологическим культурам может препятствовать их внедрению потенциальными производителями, которые могут получить большие выгоды от этой технологии.

В статье [38] анализируются основания и последствия решения Суда Европейского союза. Государственный совет Франции обратился к Суду Европейского союза с просьбой определить, по существу, являются ли организмы, полученные путем мутагенеза (то есть редактирования генов), генетически модифицированными организмами (ГМО). Суд постановил, что существующая Директива также распространяется на организмы, полученным с помощью методов мутагенеза, которые появились после ее принятия.

Однако в ответ на решение Суда министр сельского хозяйства США опубликовал заявление с критикой этого решения. В заявлении, в частности, говорится, что «государственная политика должна поощрять научные инновации, не создавая ненужных барьеров или неоправданно стигматизируя новые технологии. К сожалению, это решение Суда является неудачей в этом отношении, поскольку оно узко рассматривает новые методы редактирования генома как подпадающие под действие регрессивных и устаревших правил Европейского Союза, регулирующих генетически модифицированные организмы».

В работах [39, 40] дается обзор сложности исследования и интерпретации глобального общественного мнения о ГМ-продуктах, в котором авторы отметили негативное отношение к генетически модифицированным продуктам питания в Европе. По результатам опросов, проведенных в последние годы, было установлено, что процент респондентов, выступающих против ГМ-продуктов, растет, и для преодоления этой тенденции необходимы значительные усилия.

В работе [41] приведены результаты социологического исследования восприятия населением Китая использования генетической модификации широкого спектра сельскохозяйственных культур при производстве продуктов питания. В результате опроса 11,9 % респондентов дал положительный ответ, 41,4 % нейтральный и 46,7 % отрицательно относятся к генетически модифицированным продуктам питания. 13,8 % респондентов, считали ГМ-технологии формой биотерроризма, направленного против Китая. Меньшая часть респондентов (11,7 %) заявили, что понимают основные принципы ГМ-технологии, в то время как большинство из них были либо «нейтральными», либо «незнакомы с ГМ-технологиями». Процент респондентов, доверяющих правительству и ученым, составил лишь 11,7 и 23,2 % соответственно. Отмечается, что до тех пор, пока общественные сомнения в отношении ГМ-продуктов не будут устранены сбалансированным и основанным на фактических данных образом, Китаю будет трудно разработать разумную политику и программы, которые принесут пользу агропромышленному комплексу и потребителям.

Использование ферментных препаратов (ФП) в пищевой промышленности постоянно растет. Эти ФП в основном получают путем микробной ферментации, для которой используются как штаммы дикого типа, так и генетически модифицированные штаммы. Выход продукции ФП может быть увеличен за счет оптимизации процесса ферментации либо за счет использования генетически модифицированных штаммов микроорганизмов, либо за счет производства рекомбинантных ферментов. В работе [42] представлен общий обзор различных методов, используемых для производства препаратов ФП, и того, как использование ГМ и ГР могут увеличить выход продукции. Подчёркнута потребность в разработке соответствующих методах обнаружения, и выявление присутствия генной модификации в ферментных препаратах, которые уже широко используются в производстве продуктов питания.

Исследование [43] было проведено для изучения факторов концептуальной модели, влияющих на восприятие социальных рисков приобретения ГМ-продуктов потребителями. Подтверждающий факторный анализ и тесты надежности (альфа-критерий Кронбаха) использовались для определения наиболее экономичных моделей, которые лучше всего подходят для восприятия социального риска ГМ-продуктов. Отмечается, что психологические атрибуты риска, восприятие социальной выгоды, отношение к использованию технологий, уровень религиозности и морально-этические убеждения оказались наиболее мощными предикторами восприятия социального риска. Восприятие социальной выгоды также оказало косвенное влияние на оценку социального риска ГМ-продуктов [44].

Только время покажет, будут ли продукты, полученные с помощью ГМ-технологий, или организмы с отредактированным геномом, лучшим решением для достижения пищевой безопасности, защищенности и устойчивости. По крайней мере, для ГМ-продуктов обнадеживает отсутствие каких-либо достоверных, задокументированных побочных эффектов.

Нетермические технологии инактивации микроорганизмов

Термические технологии обработки исторически являются наиболее распространенным методом инактивации микроорганизмов, используемыми в пищевой промышленности для обеспечения безопасности продуктов питания и продления срока их хранения. Традиционные термические технологии обеззараживания продуктов имеют определенные ограничения и недостатки, такие как изменение качества продукта, воздействие на окружающую среду, канцерогенность, потенциальное и/или пониженное признание потребителями. Поэтому, в связи с возросшим потребительским спросом на более натуральные и полезные продукты питания, интенсивно исследуются возможности использования нетермических технологий обработки.

К наиболее распространенным нетермическим технологиям обработки пищевых продуктов с целью инактивации микроорганизмов обычно относят [45] следующие методы: высокого гидростатического давления, импульсных электрических полей, высокоинтенсивного ультразвука, холодной атмосферной плазмы, ультрафиолетового излучения, импульсного света, ионизирующего излучения и осциллирующих магнитных полей, которые в различной степени обладают способностью инактивировать микроорганизмы. Эти инновационные технологии в последнее время стали промышленными способами пастеризации мясных продуктов и полуфабрикатов, рыбы и морепродуктов, молочных и овощных продуктов, а также готовых блюд.

Исследования, результаты которых приведены в работе [46] показывают, что среди нетермических методов пастеризации продуктов использование в США высокого гидростатического давления составляет 35,6 %, пульсирующего электрического поля 20 %, холодной атмосферной плазмы 14,1 %, осциллирующих магнитных полей 14,0 %. Существуют также и другие технологии, которые в настоящее время находятся в стадии разработки и предполагаются для продления срока годности определенных продуктов питания при сохранении их натуральных питательных веществ.

Работа [47] рассматривает применение в последнее время наиболее распространенных нетермических технологий обеззараживания в пищевой промышленности, а также механизм их действия. Кроме того, эта работа

анализирует потенциальные перспективы применения комбинации нетермических обработок, применяемых в пищевой промышленности, что не только может преодолеть недостаток одной технологии, но также обеспечивает эффективность обработки при более низкой интенсивности.

Обработка высоким гидростатическим давлением

Использование высокого гидростатического давления в технологиях производства пищевых продуктов было предложено очень давно, ещё в конце XIX века [48]. Уже тогда было отмечено, что обработка молока при давлении 670 МПа в течение 10 минут при комнатной температуре, резко снижает его бактериальную обсеменённость. А в мясе, обработанном при давлении 530 МПа в течение 1 часа, наблюдался незначительный рост числа микроорганизмов только через три недели. Несмотря на полученные положительные результаты, интерес к этой технологии угас почти на сто лет и это, в основном, из-за отсутствия подходящего оборудования до этого времени и очень высокой стоимости его разработки, изготовления и эксплуатации. Общее развитие технологий машиностроения и электронной техники позволили к настоящему времени разработать и внедрить в промышленную эксплуатацию различные виды специализированного оборудования для обработки пищевых продуктов высоким гидростатическим давлением (ВГД). Тем не менее, его широкое распространение еще задерживается, проводятся дополнительные исследования механизма действия (ВГД) на пищевые продукты.

Первоначально было отмечено, что высокое (ВГД) губительно действует на микроорганизмы, и поэтому основное внимание исследование было направлено на использование этого эффекта для нетермической пастеризации и/или стерилизации продуктов. Подобные исследования, но в более тонких деталях, продолжаются и сейчас. Работа [49] посвящена анализу влияния этой инновационной технологии нетермической обработки на качество продуктов питания. Показано, что эта технология в настоящее время является наиболее популярной, так как она позволяет одновременно сохранять питательные и органолептические характеристики продуктов и

инактивировать в них микроорганизмы, тем самым продлевая срок годности продуктов.

В статье [50] были рассмотрены недавние результаты исследований по использованию ВГД для повышения безопасности пищевых продуктах нетермической инактивацией бактерий *Salmonella* spp. Отмечено, что существуют определенные ограничения при использовании этой технологии. Состав и состояние пищи существенно влияют на эффективность действия ВГД. Пониженный эффект воздействия наблюдается для некоторых пищевых продуктов с высоким содержанием жира, белка и сахара.

Кроме обеспечения микробиологической безопасности пищевых продуктов технология ВГД также может быть использована для повышения их техно-функциональных свойств. В обзорном исследовании [51] рассматриваются перспективы использования ВГД в разработке и производстве продуктов для здорового питания. Показано, что ВГД способствует биосинтезу g-аминомасляной кислоты в пищевых материалах, сохраняет компоненты иммуноглобулина в молочных продуктах, увеличивает содержание резистентного крахмала в злаках и снижает гликемический индекс. Поскольку ВГД вызывает физическое повреждение структуры пищевых продуктов, его также можно использовать в качестве синергетической технологии экстракции для повышения эффективности экстракции функциональных компонентов, тем самым сокращая время их экстракции. О потенциальных синергетических эффектах использования ВГД для обработки различных пищевых продуктов сообщается также в работе [52]. Возможность одновременного использования трех параметров: давления, температуры и времени, может быть оптимизирована для разработки пищевых продуктов с особыми свойствами.

Основное внимание в работе [53] уделяется изучению применения ВГД для целей гелеобразования, инфузии под высоким давлением и пропитки под высоким давлением – методов, открывающий большой потенциал для улучшения качества пищевых продуктов. Обработка под высоким давлением имеет ещё много неисследованных возможностей для улучшения качества пищевых продуктов. Как отмечается в работе [54] одной из причин отсутствия

широкого применения ВГД для обработки жидких молочных продуктов может быть то, что эта обработка отрицательно влияет на многие компоненты молока, особенно на белковый и минеральный баланс, и вызывает изменения функциональных свойств таких продуктов. В то же время ВГД обработка является потенциальной технологией в молочной промышленности при производстве сыра из-за ее положительного влияния на время коагуляции сычужного фермента, выход сыра, характеристики созревания, срок годности сыра, функциональность сыра и развитие новых текстур. В некоторых случаях, например, для вяленых мясных продуктов, ВГД является единственным возможным процессом пастеризации, который оказывает минимальное влияние на внешний вид, вкус, текстуру и пищевую ценность.

Существующий коммерческий успех ВГД-обработки в основном можно объяснить [55] способностью обеспечивать пищевые продукты высшим качеством, с точки зрения органолептики, высокой питательной ценностью и биофункциональными свойствами с увеличенным сроком хранения по сравнению с соответствующими термически обработанными пищевыми продуктами. В целом отмечено, что ВГД – технология обработки пищевых продуктов оказывает положительное воздействие на окружающую среду, ее внедрение в процесс производства может приводить к существенной экономии воды и энергии, эффективному использованию упаковочного материала и позволяет значительно сократить пищевые отходы из-за увеличения сроков хранения обработанных продуктов.

Электромагнитная обработка

Импульсные электрические поля (ИЭП) – это новая и многообещающая технология нетермической обработки пищевых продуктов, которая развивается от уровня лаборатории и экспериментального предприятия до современного промышленного уровня. Как показывает работа [56] использование ИЭП для пастеризации продуктов питания представляет собой привлекательную и эффективную нетепловую технологию, которая может повысить функциональность и эффективность инактивации микроорганизмов.

В работе [57] приводится систематический обзор технологий на основе действия ИЭП, используемых в Китае для обработки пищевых продуктов.

Показано, что воздействие ИЭП на продукты отдельно или в сочетании с другими методами позволяет не только инактивировать микроорганизмы и способствовать извлечению активных компонентов, но также и модифицировать биомакромолекулы, усиливать химические реакции и ускорять созревание ферментированных пищевых продуктов. Воздействие электрического поля проявляется в основном в пермеабиллизации биомембран, протекании электрохимических и электролитических реакций, поляризации и перестройки молекул, а также снижении энергии активации химических реакций. Отмечается также, что существуют противоречивые результаты использования этой технологии, в частности при воздействии на ферменты.

Использование ИЭП в производстве пищевых продуктов привлекает значительное внимание как экологически чистая технология улучшения техно-функциональных свойств молочных и растительных белков. В работе [58] обсуждается влияние обработки ИЭП на структуру молочных и растительных белков, а также белково-полисахаридных комплексов и изменения их техно-функциональных свойств (растворимость, гелеобразование, эмульгирование и пенообразование). В этой работе также приведены основные проблемы и возможные тенденции применения ИЭП в пищевой промышленности.

В работе [59] представлен обзор использования ИЭП для обработки белков и биоактивных пептидов в пищевых продуктах, включая экстракцию белков, гидролиз, инактивацию или активацию ферментов и повышение биологической активности пептидов. Отмечается, что действие ИЭП на белки в основном связано с изменением их вторичной и третичной структуры.

Исследование [60] направлено на оценку влияния предварительной обработки импульсным электрическим полем на массоперенос, микроструктуру и вкусовые качества говядины в процессе маринования. Показано, что такая обработка позволила сократить время маринования на 33 % при улучшении нежности готового продукта.

Вместе с тем, отказ от традиционных термических методов обработки пищевых продуктов и их замена на инновационные технологии приводит к возникновению недоверия потребителей к качеству готового продукта и

соответствию продукта ожиданиям. Кроме того, технологии ИЭП требуют разработки, создания и квалифицированного обслуживания сложного и высокотехнологичного оборудования с использованием весьма высокого электрического напряжения, что требует строгого соблюдения правил техники безопасности. Изучение механизмов действия ИЭП на пищевые продукты проводятся многими исследователями, а результаты таких исследований всё шире используются в пищевой промышленности. Значительно меньше работ посвящено изучению действия на пищевые продукты импульсного магнитного поля. Как показано в работе [61] бактерицидная способность импульсного магнитного поля обеспечивается эффектами электромагнитной индукции, эффектами действия сил Лоренца и эффектами ионизации. По сравнению с использованием ИЭП эта технология менее опасна для персонала.

Методы электромагнитной обработки продуктов питания могут быть частью других, более сложных, комбинированных методов. В работе [62] критически рассматриваются и обобщаются исследования по обеззараживанию поверхностей сухих пищевых продуктов с использованием холодной атмосферной плазмы, возбуждаемой электрическим полем, и облучение продуктов низкоэнергетическим пучком электронов, которые продемонстрировали потенциал для решения определенных проблем обработки продуктов.

Наибольший интерес представляет облучение пучком электронов с энергией на более 10 МэВ, а также тормозное излучение, генерируемое ускорителями электронов с энергией не более 5 МэВ. У ускорителей электронов есть и преимущества по сравнению с другими методами. Это малое время экспонирования (несколько секунд по сравнению с минутами и даже часами в некоторых случаях). Более высокий коэффициент полезного действия, который, в зависимости от облучаемого материала составляет 40-80 %. К тому же они более экономичны и к ним предъявляют менее жесткие требования по защите от облучения обслуживающего персонала [63]. Кроме того, предлагаются механизмы инактивации микроорганизмов при использовании этих технологий, взаимодействие продукта и процесса,

текущие ограничения и потенциалы масштабирования, а также обсуждаются тенденции и потребности в исследованиях для обеих технологий.

Технологии облучения

Применение различного рода излучений для обеззараживания продуктов известно давно и восходит, по-видимому, к использованию для этих целей прямого солнечного света. И сейчас ультрафиолетовое (УФ) излучение широко используется в пищевой промышленности для инактивации микроорганизмов. Это эффективный метод инактивации микроорганизмов в пищевых продуктах, обеспечивающий повреждение их ДНК и/или нарушение активности клеточных ферментов и целостности цитоплазматической мембраны. Наряду с использованием и совершенствованием известных методов УФ обработки продуктов, разрабатываются новые методы. Разработка новых методов направлена на устранение основного недостатка использования УФ обработки – изменение и, зачастую, ухудшение физико-химических и органолептических свойств продуктов. Тем не менее, исследования в этом направлении продолжаются. В работе [64] показано, что эффективность обработки зависит от параметров процесса (время воздействия, доза УФ-излучения, длина волны), типа продукта (химический состав, вязкость, мутность, непрозрачность и шероховатость), оборудования (форма и геометрия) и характеристик микроорганизмов (вид, штамм, фаза роста и условия восстановления). При оптимальных условиях УФ обработка в минимальной степени влияет на свойства продукта. Использование УФ обработки продуктов в большинстве случаев не вызывает негативных эмоций у потребителя в силу её широкого распространения, но при её использовании в производстве требуется осторожность и тщательное соблюдение правил техники безопасности.

Вместе с тем УФ-излучение не способно глубоко проникать в продукт и инактивировать микроорганизмы внутри продукта, чаще всего производится обработка только его поверхности. Поэтому, как показывают многочисленные исследования, проведённые за многие годы [65], использование других видов излучения (проникающего) является более эффективным как с точки зрения

инактивации микроорганизмов в продуктах, так и с точки зрения эффективности производства. К таким видам относятся процессы облучения с использованием радионуклидов ^{60}Co или ^{137}Cs , а также генераторов пучков электронов и рентгеновских лучей (ГОСТ ISO 14470-2014).

Одна из первых работ по использованию ионизирующего излучения в пищевой промышленности была опубликована в 1950 г [66] и уже в 1958 г в Советском Союзе, а в 1959 г в Канаде было официально разрешено использование ионизирующего излучения для предотвращения прорастания картофеля.

В работе [67] подчёркивается, что любая новая обработка пищевых продуктов, включающая процесс облучения, представляет серьезную проблему в реагировании потенциальных покупателей. Для повышения приемлемости этих технологий потребителями, необходимы не только убедительные научные данные, демонстрирующие безопасность облученных пищевых продуктов, но также информирование, маркировка и разъяснение этой конкретной технологии. Новые стратегии маркетинга, основанные на положительных сообщениях об облучении продуктов, могут побуждать потребителей быть более восприимчивыми к ориентированным на безопасность высококачественным облученным продуктам.

В обзорной статье [68] рассматриваются различные последствия облучения пищевых продуктов с точки зрения питательной ценности, продления срока годности, токсикологических аспектов, законодательства, касающегося облучения пищевых продуктов, и глобальной приемлемости. Отмечено, что не все пищевые продукты подходят для облучения. Некоторые компоненты продуктов, например, витамины и ферменты, подвержены отрицательному влиянию облучения. Поэтому, последние тенденции в исследованиях облучения пищевых продуктов показывают увеличение работ по изучению радиолитических продуктов, образующихся после облучения пищевых продуктов.

Многочисленные исследования вносят значительный вклад в понимание сложной природы облученных пищевых продуктов, растущей важности и противоречивых мнений потребителей. Так исследование [69] расширяет

теорию предпосылок запланированного поведения для анализа независимых детерминант и влияния риска и доверия на восприятие потребителем облученных продуктов на примере Австралии. Это исследование в целом внесло значительный вклад в определение области предпочтений пищевых продуктов, подвергающихся облучению. Оно является одним из первых, в котором утверждается и показывается важность таких исходных факторов, как риск и доверие. Так же здесь определена сдерживающая роль озабоченности по поводу необходимости раскрытия информации, имеющей ключевое значение для принятия обоснованных решений в отношении облученных пищевых продуктов.

В работе [70] отмечено, что потребители часто проявляют сильное отвращение к пищевым продуктам с высокой степенью обработки и незнакомым и искусственно звучащим инновационным пищевым технологиям. В этом исследовании подчеркивается важность терминологии при общении с потребителями по вопросам использования инновационных стратегий обеззараживания пищевых продуктов. Таким образом, облучение пищевых продуктов является ярким примером, который показывает, насколько важно принимать во внимание точку зрения потребителя перед внедрением конкретной технологии обработки пищевых продуктов, в дополнение к оценке рентабельности и эффективности. В этом исследовании также подчеркивается важность консультаций со специалистами по социальным наукам перед внедрением инновационной пищевой технологии.

Ещё одной проблемой технологий облучения является отсутствие в настоящее время аналитического метода, который можно было бы использовать для контроля всех видов пищевых продуктов и обнаружения использования облучения. В работе [71] отмечается, что определение различия между облученными и необлученными пищевыми продуктами до сих пор остается нерешенной аналитической проблемой. Фактически, большинство химических соединений, образующихся в результате обработки облучением, не являются уникальными продуктами радиолиза и, следовательно, не являются адекватными маркерами для обнаружения применения ионизирующего излучения. Возможность обнаружения пищевых

продуктов, облученных малыми дозами, все еще сомнительна, и усилия исследователей могут быть направлены на обнаружение ингредиентов, облученных в дозах ниже 1 кГр и включенных в необлученные пищевые продукты.

Целью статей [72, 73] было исследование готовности потребителей принимать облученные продукты питания и определение основных факторов, связанных как с социально-этическими характеристиками, так и с предполагаемым риском потребителей в отношении пищевых продуктах, обработанных с помощью технологий облучения. В результате этих исследований было определено, что приемлемость облученных пищевых продуктов для потребителей в основном зависит от предполагаемого риска для здоровья в результате их потребления. Не менее важными являются социально-экономические факторы, такие как возраст, ежемесячный доход потребителей и географический район, в котором они живут. В этих исследованиях представлены некоторые интересные предложения, как для политиков, так и для менеджеров. В первую очередь это необходимость проведения эффективной рекламной кампании, направленной на ознакомление потребителей с принципами, целями и преимуществами технологии облучения, как о новом методе обработки пищевых продуктов, предлагающем потребителям большие гарантии с точки зрения безопасности пищевых продуктов и безопасности пищевых продуктов. Предлагается также замена термина «облучение пищевых продуктов» на «холодная пастеризация». Являясь той же технологией, это могло бы изменить отношение потребителей к обработанным продуктам, повысив склонность принимать или покупать облученные продукты. (По аналогии с заменой в медицине термина «Рентгеновская томография» на термин «Компьютерная томография».)

Большинство обычных потребителей до сих пор рассматривает облучение как опасный метод обработки пищевых продуктов. Люди связывают ионизирующее излучение с раком и считают облученную пищу не менее опасной. Это заблуждение, которое должно быть искоренено надлежащим воспитанием. Все международные агентства, такие как ВОЗ и

МАГАТЭ, одобрили облучение пищевых продуктов как безопасный и эффективный метод обеспечения безопасности пищевых продуктов. Также, использование этой технологии может способствовать решению этической проблемы, связанной с пищевыми отходами, которую можно устранить с помощью обработки ионизирующим излучением. По сути, пищевые отходы представляют собой проблему, имеющую большое значение для глобальной продовольственной безопасности и рационального природопользования, которая напрямую связана с экологическими, экономическими и социальными последствиями.

Аддитивные технологии

Аддитивные технологии – это методы послойного добавления материалов в процессе изготовления продукта, которые дают возможность создавать различные виды слоев с различным составом, свойствами и топологией. Аддитивные технологии всё шире используются в промышленном производстве пищевых продуктов и связано это, в первую очередь, с всеобщей цифровизацией технологического оборудования. Появившаяся возможность воспроизводимого и точного создания различных сочетаний ингредиентов и дизайна таких пищевых систем может придавать новые вкус, аромат и текстуру, отсутствующие в обычных процессах приготовления пищи. При этом одна из основных целей использования аддитивных технологий в пищевой промышленности – это не просто новая промышленная обработка, а адаптация к концепции персонализированного питания в соответствии с потребностями различных групп потребителей.

Наиболее быстро развивающейся и перспективной аддитивной технологией для пищевой промышленности является цифровая 3D-печать продуктов питания. Пищевой продукт, произведённый с использованием 3D-печати, представляет собой произвольную (по выбору конструктора продукта) пищевую систему, созданную из дискретных элементарных минипорций разнообразных жиров, белков, углеводов и др. компонентов, расположенных в порядке, установленном конструктором. По своей сути, использование 3D-печати в пищевой промышленности знаменует её

постепенный переход к разработке и производству **цифровых пищевых систем**. Понимание такого перехода стимулирует проведение фундаментальных и прикладных исследований в этом направлении.

Состояние науки в области прикладных методов аддитивной технологии для производства пищевых продуктов рассмотрено в работе [74]. Отмечено, что основной задачей на ближайшие годы будет работа над использованием 3D-печати для производства мясных продуктов или продуктов, содержащих альтернативные источники белка, которые сохраняют нужную структуру без необходимости использования добавок. Также здесь рассмотрена возможность использования альтернативных источников белка, таких как побочные продукты животного происхождения, для решения вопросов рационального использования пищевых ресурсов и устойчивого развития отрасли.

Также возможности технологии 3D-печати мясных продуктов рассмотрены в работах [75, 76]. В этих обзорах оценивается потенциал применения 3D-печати для переработки мяса и элементарные аспекты, влияющие на пригодность для печати и возможность постобработки мясных продуктов, напечатанных на 3D-принтере. Отмечается, что комбинирование сбалансированных по питательным веществам ингредиентов и внутренних структур позволяет создавать трехмерные продукты из нескольких компонентов, которые отвечают индивидуальным особенностям потребителей, например таким, как трудности с жеванием или глотанием.

Важным фактором приемлемости для потребителей, помимо внешнего вида и вкуса, является текстура пищевых продуктов. В обзорной статье [77] рассмотрены существующие работы по 3D-печати пищевых продуктов и обсуждены разработки, касающиеся дизайна пищевых текстур. Обсуждаются преимущества и ограничения 3D-печати в пищевой промышленности, возможности печати из различных материалов и текстуры на основе математических моделей, а также будущие тенденции в 3D-печати, включая численное моделирование. Также подробно рассматриваются ключевые проблемы для массового внедрения 3D-печати. Подчёркнуто, что существующие исследования восприятия потребителями и органолеп-

тического анализа печатных продуктов питания дают противоречивые результаты. Сообщается о существующем сопротивлении многих потребителей 3D-печати пищевых продуктов, обусловленном внешним видом таких продуктов, источником пищевого материала, визуально воспринимаемыми сенсорными характеристиками и воспринимаемом неестественном происхождении печатных структур. Большинство участников исследований показали лучшую восприимчивость к знакомой пище. Авторы заметили положительное изменение мнения с увеличением количества информации, предоставляемой потребителям этой продукции. Исключение наблюдалось у людей, уже имевших предвзятое отношение к 3D-печати и страдающих пищевой неофобией, где коммуникация была малоэффективной и даже укрепляла их мнение.

В обзорных статьях [78, 79] рассматриваются результаты работ по 3D-печати пищевых продуктов и последние разработки, касающиеся дизайна пищевых текстур. Обсуждаются преимущества и ограничения 3D-печати в пищевой промышленности, а также тенденции в 3D-печати, включая технологии приготовления пищи печатью на пищевых принтерах. Также подробно рассматриваются ключевые проблемы, препятствующие массовому внедрению 3D-печати. Отмечено, что принятие трехмерной печати широчайшим потребителем зависит от осведомленности людей об этой технологии и ее преимуществах. Дальнейшее распространение информации о потенциале 3D-печати может помочь снизить неофобию потенциальных потребителей.

В работе [80] представлен обзор свойств расходных материалов для 3D-печати и их влияние на процессы печати. Также подчеркнут широкий диапазон применений 3D-печати в пищевой промышленности и некоторые проблемы, возникающие при внедрении в производство. Отмечена специфическая особенность использования 3D-печати – это возможность пиратства цифровых рецептов и управляющих компьютерных программ, что станет проблемой по мере расширения этой технологии и ее приложений. 3D-печать пищевых продуктов может стать столь же разрушительной, как персональный компьютер и Интернет.

Рассматриваются самые разнообразные варианты 3D-печати, подготовки исходных компонентов, состав и форма готового продукта. Так в работе [81] основное внимание уделяется взаимосвязи между свойствами материалов крахмалосодержащих пищевых продуктов и 3D-печати методом горячей экструзии. Здесь же обсуждается влияние свойств материалов (реология, адгезионная способность, термические свойства, микроструктура и взаимодействие компонентов) на возможность печати. Кроме того, рассматривается влияние добавок (гидроколлоидов, липидов, клетчатки, белка, соли и др.), методов обработки и параметров процесса на печать.

Краткая критическая оценка методов улучшения характеристик продуктов, напечатанных на 3D-принтере, представлена в обзоре [82]. Здесь же представлены рекомендации для будущих исследований и разработок в области обработки продуктов, напечатанных на 3D-принтере, включая их постобработку, например, сушку, жарку, выпечку, охлаждение, стерилизацию и т.д., что имеет решающее значение для более широкого промышленного применения этой быстро развивающейся технологии.

В работе [83] отмечено, что технология 3D-печати продуктов питания, как новая интеллектуальная технология, благодаря своим встроенным возможностям может поддерживать устойчивую логистическую цепочку поставок. При этом, заинтересованным сторонам нужны технические ноу-хау в отношении технологии 3D-печати, хорошо подкрепленные правовой базой для четкого владения правами на интеллектуальную собственность. Кроме того, производители должны иметь целенаправленное и четкое стратегическое планирование в условиях устойчивых цепочек поставок.

Активно исследуются возможности использования в технологиях 3D-печати пищевых продуктов компонентов с высоким содержанием белка и биологической ценностью, хорошим профилем аминокислот и функциональностью на основе водорослей, насекомых, растений, грибов и микробных белков [84]. Отмечается, что использование в совокупности 3D-печати пищевых продуктов и искусственного интеллекта позволяет разрабатывать и производить персонализированные продукты с высокой питательной ценностью и широким потенциалом востребованности.

Различные технологии, используемые в 3D-печати пищевых продуктов, обсуждаются в работе [85] с коммерческой точки зрения, то есть их использование, доступность и надежность должны учитываться с точки зрения бизнеса. Кроме того, рассмотрены 3D-печатные продукты питания, их положение на рынке, спрос на них, а также предложение в условиях крупносерийного и среднесерийного производства.

Отношение людей к новой технологии, критические факторы, влияющие на поведение потребителей, и, наконец, влияние 3D-печати на социальные, экономические и экологические изменения, неизменно находятся в поле зрения исследователей. Технология 3D-печати пищевых продуктов коренным образом перепроектирует их производство, тем самым влияя на многие сферы повседневной жизни. В исследовании [86] делается попытка определить поведение людей в отношении технологии 3D-печати, оценить их осведомленность и то, насколько они знакомы с этой новой технологической инновацией. По мнению авторов в ближайшем будущем настольный пищевой 3D-принтер будет необходим каждому дому и офису.

В процессе развития аддитивных технологий 3D-печать постепенно преобразуется в технологии 4D/5D/6D-печати пищевых продуктов. По сути, 4D-печать добавляет к 3D-печати временное измерение, обусловленное запрограммированным изменением свойств пищевого продукта во времени или под действием инициирующих внешних факторов. 4D-печатные продукты претерпевают во времени некоторые запрограммированные структурные изменения. Обычно для запуска этой трансформации требуются некоторые факторы окружающей среды. Например, увлажнение или нагревание, одни продукты могут менять форму, другие могут менять текстуру, некоторые продукты могут позволять потребителям настраивать их по своему вкусу [87]. В этой работе критически обсуждаются аспекты рекомбинации различных пищевых материалов и причины изменения цвета, формы, вкуса и питательных свойств с помощью 4D-печати пищевых продуктов. Обозначены и проанализированы ключи к успеху 4D-печати еды и разнообразные способы решения соответствующих проблем. 4D-печать продуктов питания в полной мере соответствует концепции «плоской

упаковки», т.е. на производстве печатается и упаковывается изначально сильно деформированный продукт, который после снятия упаковки и некоторой его обработки принимает необходимый вид. Эта возможность 4D-печати снижает транспортные расходы и площади складских помещений.

В последние годы наблюдается значительный рост исследований в области 4D-, а также 5D- и 6D-печати пищевых продуктов [88]. Рассматриваются и обобщаются текущие области применения, преимущества, ограничения и проблемы 4D-печати пищевых продуктов. Кроме того, рассматриваются и обсуждаются принципы, текущие и потенциальные применения новейших технологий аддитивного производства (5D- и 6D-печать). Более того, отмечается, что 5D- и 6D-печать в принципе может печатать очень сложные конструкции с повышенной прочностью и меньшим количеством материала, чем 3D- и 4D-печать. Ожидается, что в будущем эти новые технологии приведут к значительным инновациям во всех областях, включая производство высококачественных пищевых продуктов, которые невозможно произвести с помощью существующих технологий переработки.

Обобщены последние достижения в области 2D/3D/4D/5D-печати пищевых продуктов реологически стабильными компонентами, включая украшение продуктов питания, персонализацию продуктов питания и пищевую аналитику [89]. Кроме того, предлагаются и решаются перспективы (такие как 6D-печать) и ключевые проблемы (реология с междисциплинарной интеграцией) для печати пищевыми компонентами для творческого производства продуктов питания.

Восприятие новых пищевых технологий изменчиво. Будущие исследования должны изучить, как различные инновационные технологии воспринимаются потребителями, и какие аспекты этих технологий наиболее сильно влияют на их принятие. Последним шагом будет получение потребительского признания пищевых продуктов, представляющих собой сложные цифровые пищевые системы, напечатанные с использованием многомерной печати. Если потребители должным образом будут проинформированы об используемых методах и предлагаемых преимуществах, то мы не видим реальных препятствий для более широкой приемлемости этих технологий, особенно среди будущих поколений.

Когда на рынок начинают выходить пищевые продукты с использованием в их производстве инновационных технологий, средства массовой информации активно начинают обсуждать их преимущества и потенциальную опасность. Так было при использовании ионизирующего излучения, нанотехнологий, генной модификации, 3D-печати и т.д. При этом массовые потребители в основном полагаются на когнитивные ощущения или эвристику, а не на научные знания, чтобы понять проблемы, по которым у них низкий уровень знаний. Эта эвристика может включать в себя факторы предрасположенности, такие как идеологические убеждения или системы ценностей, а также краткосрочные ориентиры, предоставляемые средствами массовой информации или другими источниками информации. Важной эвристикой для пищевых нанотехнологий являются также и религиозные фильтры - это уровень личного восприятия новых научных достижений, касающихся непосредственно потребителя, связанный с уровнем его религиозности и конфессиональной принадлежности. Позитивное отношение к инновационным технологиям среди менее религиозных респондентов выше, чем для религиозных потребителей. Такие моральные взгляды напрямую коррелируют и с уровнями религиозности в каждой стране. Таким образом, при коммерциализации инновационных пищевых технологий необходимо учитывать и риски, связанные с социально-культурными и историческими особенностями потенциального рынка [90].

Коммерциализация инновационных пищевых технологий также осложняется динамическими социально-культурными сдвигами в общественных ценностях. Например, появляющимися предпочтениями потребителей для экологически чистых производственных систем [91], локализованных пищевых продуктов [92] или улучшенных стандартов содержания животных [93]. Всё это затрудняет создание долгосрочной программы коммерциализации для инновационных пищевых технологий.

Будущее инновационных пищевых технологий во многом зависит от мнения потребителей. Это связано с тем, что, если потребители не принимают предложенный пищевой продукт с использованием той или иной технологии, то она перестаёт применяться на производстве через какое-то время.

Очевидно, что ожидания потребителей состоят не только в аспекте безопасности и пользы для здоровья, но и в таких требованиях, как улучшенный вкус продукта, консистенция, его внешний вид, аромат и т.д. Потребители имеют много ожиданий, но в основном они, как предполагается, будут полностью устойчивыми не только относительно здоровья людей, окружающей среды или методов производства, но также и в том, что касается благосостояния животных. По этой причине компании или продукты, которые в будущем выиграют в пищевой промышленности, вероятно, будут близки к этим требованиям или ожиданиям.

Несмотря на то, что прорывы в области инновационных пищевых технологий ежедневно прокладывают новые пути развития, все еще остается множество проблем и возможностей для улучшения существующих технологий, а также опасений по поводу потенциальных последствий новых технологий. Чем более глобальными, динамичными и сложными становятся пищевые системы, чем шире используются инновационные технологии при производстве продуктов, тем больше возникает разнообразных проблем, которые необходимо решить, чтобы развеять опасения потребителей. Даже с появлением новых пищевых технологий проблемы, связанные с созданием здорового и устойчивого продовольственного сектора, сохраняются. Прозрачность вопросов безопасности и воздействия на окружающую среду должна быть приоритетом при разработке и использовании инновационных технологий в производстве пищевых систем, поэтому обязательное тестирование новых продуктов до их выпуска на рынок имеет важнейшее значение.

Общественность, чаще всего, мало осведомлена об инновационных пищевых технологиях, в то время как её отношение меняется в зависимости от того, как эти технологии используются и пропагандируются. Конфликт, по-видимому, заключается в том, что общественность хочет быть информированной о состоянии используемых пищевых технологий (особенно о разработке связанных с ними новых продуктов), в то время как производители продуктов питания предпочитают обратное, поскольку их

технология является конфиденциальной. Надлежащее информирование общества имеет решающее значение для долгосрочного успеха внедрения и развития инновационных технологий в пищевой промышленности. Важна не только разработка инновационных технологий и выпуск новых продуктов, но и законодательное регулирование на государственном уровне использования этих технологий, обеспечивающее безопасность пищевых продуктов при минимальных воздействиях на окружающую среду.

Можно надеяться, что интенсивное развитие информационных технологий совместно с синергетической совокупностью инновационных пищевых технологий, часть из которых рассмотрена в этой работе, позволит совершить постепенный переход к производству **персонализированных цифровых пищевых систем**, обладающих функциональностью, хорошим вкусом, привлекательностью и безопасностью при минимальном отрицательном воздействии на окружающую среду.

Будущие исследования должны быть направлены на количественную оценку связей между экономическими последствиями использования инновационных технологий и показателями риска для здоровья населения и окружающей среды и учётом предпочтений различных категорий потребителей.

Список литературы

1. Siegrist, M., Hartmann, C. (2020). Consumer acceptance of novel food technologies. *Nature Food*, 1(6), 343–350. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0094-x>
2. Pliner, P., Hobden, K. (1992). Development of a scale to measure the trait of food neophobia in humans. *Appetite*, 19(2), 105-120. [https://doi.org/10.1016/0195-6663\(92\)90014-W](https://doi.org/10.1016/0195-6663(92)90014-W)
3. Cooke, L.J., Haworth, C.M.A., Wardle, J. (2007). Genetic and environmental influences on children's food neophobia, *American Journal of Clinical Nutrition*, 86(2), 428-433. <https://doi.org/10.1093/ajcn/86.2.428>
4. Meijer, G. W., Lähteenmäki, L., Stadler, R. H., Weiss, J. (2020). Issues surrounding consumer trust and acceptance of existing and emerging food processing technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.171859>

5. Cattaneo, C., Lavelli, V., Proserpio, C., Laureati, M., Pagliarini, E. (2018). Consumers' attitude towards food by-products: the influence of food technology neophobia, education and information. *International Journal of Food Science & Technology*. 54(3), 679-687. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13978>
6. Kaptan, G., Fischer, A. R. H., Frewer, L. J. (2017). Extrapolating understanding of food risk perceptions to emerging food safety cases. *Journal of Risk Research*, 21(8), 996-1018. <https://doi.org/10.1080/13669877.2017.1281330>
7. Lamba, A., Garg, V. (2018). Nanotechnology approach in food science: A review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 3(2), 183-186
8. Ramkumar, C., Vishwanatha, A., Saini, R. (2019). Regulatory Aspects of Nanotechnology for Food Industry. Chapter in a book: *Nanotechnology Applications in Dairy Science: Packaging, Processing, and Preservation*, Dasarahally-Huligowda, L. K., Goyal M. R., Suleria H. A. R (Eds.) pp. 168-184. Apple Academic Press, New York. <https://doi.org/10.1201/9780429425370>
9. He, X., Deng, H., & Hwang, H. (2019). The current application of nanotechnology in food and agriculture. *Journal of Food and Drug Analysis*, 27(1), 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.12.002>
10. Sahani, S., & Chandra Sharma, Y. (2020). Advancements in applications of nanotechnology in global food industry. *Food Chemistry*, 342, 128318. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128318>
11. Rizvi, S. S. H., Moraru, C. I., Bouwmeester, H., Kampers, F. W. H., Cheng, Y. (2022). Nanotechnology and food safety, pp. 325-340. Chapter in book: *Ensuring Global Food Safety*, A. Martinović, S. Oh, H. Lelieveld (Eds.), Academic Press, P. 541. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816011-4.00016-1>
12. Chelliah, R., Madar, I. H., Sultan, G., Begum, M., Pahi, B., Tayubi, I. A., Selvakumar, V., Oh, D. H. (2023). Risk assessment and regulatory decision-making for nanomaterial use in agriculture. Chapter in a book: *Engineered Nanomaterials for Sustainable Agricultural Production, Soil Improvement and Stress Management: Plant Biology, sustainability and climate change*, A. Husen (Ed.), Academic Press, pp. 413-430. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91933-3.00009-X>
13. Shafiq, M., Anjum, S., Hano, C., Anjum, I., Abbasi, B. H. (2020). An Overview of the Applications of Nanomaterials and Nanodevices in the Food Industry. *Foods*, 9(2), 1-27. <https://doi.org/10.3390/foods9020148>

14. Stilgoe, J., Owen, R., Macnaghten, P. (2020). Developing a framework for responsible innovation. Chapter in a book: *The Ethics of Nanotechnology, Geoengineering and Clean Energy*, A. Maynard, J. Stilgoe (Eds.). Routledge, London, P. 544. <https://doi.org/10.4324/9781003075028>
15. Smykov I. T. (2020). Nanotechnology in the Dairy Industry: Benefits and Risks, pp. 277-332. Chapter in a book: *The ELSI Handbook of Nanotechnology: Risk, Safety, ELSI and Commercialization*, Hussain C. M. (Ed.) Scrivener Publishing LLC. <https://doi.org/10.1002/9781119592990.ch11>
16. Sadeghi, R., Rodriguez, R. J., Yao, Y., and Kokini, J. L. (2017). Advances in Nanotechnology as They Pertain to Food and Agriculture: Benefits and Risks. *Annual Review of Food Science and Technology*, 8(1), 467-471. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-041715-033338>
17. Augustin, M. A., Riley, M., Stockmann, R., Bennett, L., Kahl, A., Lockett, T., Osmond, M., Sanguansri P., Stonehouse, W., Zajac, I., Cobiac, L. (2016). Role of food processing in food and nutrition security. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 115-125. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.005>
18. Martirosyan, A., Schneider, Y-J. (2014). Engineered nanomaterials in food: implications for food safety and consumer health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11, 5720-5750. <https://doi.org/10.3390/ijerph110605720>
19. Iavicoli, I., Leso, V., Beezhold, D. H., Shvedova, A. A. (2017). Nanotechnology in agriculture: opportunities, toxicological implications, and occupational risks. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 329, 96-111. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2017.05.025>
20. Berekaa, M. M. (2015). Nanotechnology in Food Industry; Advances in Food processing, Packaging and Food Safety. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(5), 345-357
21. Radha, K., Thomas, A. and Sathian, C. T. (2014). Application of nanotechnology in dairy industry :prospects and challenges — A Review. *Indian Journal of Dairy Science*. 67(5), 367-374.
22. Huang, Q., Yu, H., and Ru, Q. (2010). Bioavailability and delivery of nutraceuticals using nanotechnology. *Journal of Food Sciences*, 75(1), 50-57. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01457.x>

23. McClements, D. J., Decker, E. A., and Weiss, J. (2007). Emulsion-based delivery systems for lipophilic bioactive components. *Journal of Food Sciences*, 72(8), 109-124. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00507.x>
24. McClements, D. J., Decker, E. A., Park, Y., and Weiss, J. (2009). Structural design principles for delivery of bioactive components in nutraceuticals and functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(6), 577-606. <https://doi.org/10.1080/10408390902841529>
25. Chau, C., Wu, S., Yen, W. (2007). The development of regulations for food nanotechnology. *Trends in Food Science & Technology*, 18, 269-280, <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2007.01.007>
26. Hajipour, M.J., Fromm, K.M., Ashkarran, A.A., Jimenez de Aberasturi, D, de Larramendi, I. R., Rojo, T., Serpooshan, V., Parak, W. J., Mahmoudi, M. (2012). Antibacterial properties of nanoparticles. *Trends in Biotechnology*, 30(10), 499-511. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.06.004>
27. He, X., Fu, P., Aker, W. G., Hwang, H.-M. (2018). Toxicity of engineered nanomaterials mediated by nano–bio–eco interactions. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*, 36(1), 21-42. <https://doi.org/10.1080/10590501.2017.1418793>
28. Sodano, V., Gorgitano, M. T., and Verneau, F. (2016). Consumer acceptance of food nanotechnology in Italy. *British Food Journal*, 118(3), 714-733. <https://doi.org/10.1108/BFJ-06-2015-0226>
29. Schnettler, B., Crisóstomo, G., Sepúlveda, J., Mora, M., Lobos, G., Miranda H., Grunert, K. G. (2013). Food neophobia, nanotechnology and satisfaction with life. *Appetite*, 69, 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2013.05.014>
30. Damsbo-Svendsen, M., BomFrøst, M., Olsen, A. (2017). Development of novel tools to measure food neophobia in children. *Appetite*, 113, 255-263. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.02.035>
31. Cushen, M., Kerry, J., Morris, M., Cruz-Romero, M. and Cummins, E. (2012). Nanotechnologies in the food industry – Recent developments, risks and regulation. *Trends in Food Science & Technology*, 24, 30-46. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.10.006>

32. Gallocchio, F., Belluco, S., and Ricci, A. (2015). Nanotechnology and Food: Brief Overview of the Current Scenario. *Procedia Food Science*, 5, 85-88. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.09.022>
33. More, S., Bampidis, V., Benford, D., Bragard, C., Halldorsson, T., Hernández-Jerez, A. (2021). Guidance on risk assessment of the application of nanoscience and nanotechnologies in the food and feed chain: Human and animal health. *EFSA Journal*, 19(8), Article e06768. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6768>
34. Frewer, L. J., Gupta, N., George, S., Fischer, A. R. H., Giles, E. L. and Coles, D. (2014). Consumer attitudes towards nanotechnologies applied to food production. *Trends in Food Science & Technology*, 40(2), 211-225. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.06.005>
35. Gupta, N., Fischer, A. R., George, S., and Frewer, L. J. (2013). Expert views on societal responses to different applications of nanotechnology: a comparative analysis of experts in countries with different economic and regulatory environments. *Journal of Nanoparticle Research*, 15(8), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11051-013-1838-4>
36. Lopez-Vazquez, E., Brunner, T. A., and Siegrist, M. (2012). Perceived risks and benefits of nanotechnology applied to the food and packaging sector in Mexico. *British Food Journal*, 114(2), 197-205. <https://doi.org/10.1108/00070701211202386>
37. Hundleby, P. A. C., Harwood, W. A. (2019). Impacts of the EU GMO regulatory framework for plant genome editing. *Food and Energy Security*, 8(2), 1-8. e00161. <https://doi.org/10.1002/fes3.161>
38. Carreño, I., Dolle, T. (2019). The Court of Justice of the European Union's Judgment on Mutagenesis and International Trade: A Case of GMO, Mutagenesis and International Trade. *Global Trade and Customs Journal*, 14(3), 91–101. <https://doi.org/10.54648/gtcj2019010>
39. Van Eenennaam, A. L., Young, A. E. (2018). Public Perception of Animal Biotechnology. Chapter in a book: *Animal Biotechnology*. Niemann, H., Wrenzycki, C. (Eds.), pp. 275-303. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92348-2_13

40. Van Eenennaam, A. L., Young, A. E. (2018). Gene editing in livestock: promise, prospects and policy. *CAB Reviews*, 13(027), 1-14. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR201813027>
41. Cui, K., Shoemaker, S. P. (2018). Public perception of genetically-modified (GM) food: A Nationwide Chinese Consumer Study. *npj Science of Food*, 2, 10. <https://doi.org/10.1038/s41538-018-0018-4>
42. Deckers, M., Deforce, D., Fraiture, M.-A., Roosens, N. H. C. (2020). Genetically Modified Micro-Organisms for Industrial Food Enzyme Production: An Overview. *Foods*, 9(3), 326. <https://doi.org/10.3390/foods9030326>
43. Brookes, G., Barfoot, P. (2020). Environmental impacts of genetically modified (GM) Crop use 1996–2016: Impacts on pesticide use and carbon emissions. *GM Crops & Food*, 11(4), 215–241. <https://doi.org/10.1080/21645698.2018.147679>
44. Ghasemi, S., Ahmadvand, M., Karami, E. *et al.* (2020). Social Risk Perceptions of Genetically Modified Foods of Engineers in Training: Application of a Comprehensive Risk Model. *Science and Engineering Ethics*, 26, 641–665. <https://doi.org/10.1007/s11948-019-00110-6>
45. Sunil, Chauhan, N., Singh, J., Chandra, S., Chaudhary, V., Kumar, V. (2018). Non-thermal techniques: Application in food industries. A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(5), 1507-1518
46. Khouryieh, H. (2020). Novel and emerging technologies used by the U.S. food processing industry. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 102559. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102559>
47. Zhang, Z.-H., Wang, L.-H., Zeng, X.-A., Han, Z., & Brennan, C. S. (2018). Non-thermal technologies and its current and future application in the food industry: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(1), 1-13. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13903>
48. Hite, B. H. (1899). The effect of high pressure in the preservation of milk. *West Virginia Agricultural Experimental Station Bulletin*, 58, 15-35
49. Fam, S. N., Khosravi-Darani, K., Massoud, R., Massoud, A. (2021). High-Pressure Processing in Food, *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(4), 11553–11561. <https://doi.org/10.33263/BRIAC114.1155311561>

50. Agregán, R., Munekata, P. E. S., Zhang, W., Zhang, J., Pérez-Santaescolástica, C., Lorenzo, J. M. (2021). High-pressure processing in inactivation of *Salmonella* spp. in food products. *Trends in Food Science & Technology*, 107, 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.025>
51. Huang, H.-W., Hsu, C.-P., Wang, C.-Y. (2020). Healthy expectations of high hydrostatic pressure treatment in food processing industry. *Journal of Food and Drug Analysis*, 28(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2019.10.002>
52. Pou, K. R. J. (2021). Applications of High Pressure Technology in Food Processing. *International Journal of Food Studies*, 10, 248–281. <https://doi.org/10.7455/ijfs/10.1.2021.a10>
53. Balakrishna, A. K., Wazed, M. A., Farid, M. (2020). A Review on the Effect of High Pressure Processing (HPP) on Gelatinization and Infusion of Nutrients. *Molecules*, 25(10), 2369. <https://doi.org/10.3390/molecules25102369>
54. Khan, S., Keshavalu, Ghosh, S., Amaresh, Maurya, R. P., Badhautiya, S., Bhat, S.A. (2017). High Pressure Processing in Food Industry. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 6(11), 28-31
55. Tsevdou, M., Gogou, E., Taoukis, P. (2019). High hydrostatic pressure processing of foods. Chapter in a book: *Green Food Processing Techniques: Preservation, Transformation and Extraction*, Chemat, F., Vorobiev, E. (Eds.) pp. 87-137. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815353-6.00004-5>
56. Arshad, R. N., Abdul-Malek, Z., Munir, A., Buntat, Z., Ahmad, M. H., Jusoh, Y. M. M., Aadil, R. M. (2020). Electrical systems for pulsed electric field applications in the food industry: An engineering perspective. *Trends in Food Science & Technology*, 104, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.008>
57. Niu, D., Zeng, X.-A., Ren, E.-F., Xu, F.-Y., Li, J., Wang, M.-S., Wang, R. (2020). Review of the application of pulsed electric fields (PEF) technology for food processing in China. *Food Research International*, 137, 109715. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109715>
58. Taha, A., Casanova, F., Šimonis, P., Stankevič, V., Gomaa, M. A. E., Stirke, A. (2022). Pulsed Electric Field: Fundamentals and Effects on the Structural and Techno-Functional Properties of Dairy and Plant Proteins. *Foods*. 11, 1556. <https://doi.org/10.3390/foods11111556>

59. Zhang, S., Sun, L., Ju, H., Bao, Z., Zeng, X.-a., Lin, S. (2021). Research advances and application of pulsed electric field on proteins and peptides in food, *Food Research International*, 139, 109914. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109914>
60. Zhang, Y., Wang, R., Wen, Q.-H., Rahaman, A., Zeng, X.-A. (2022). Effects of pulsed electric field pretreatment on mass transfer and quality of beef during marination process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 103061. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103061>
61. Guo, L., Azam, S. M. R., Guo, Y., Liu, D., Ma, H. (2021). Germicidal efficacy of the pulsed magnetic field against pathogens and spoilage microorganisms in food processing: An overview. *Food Control*, 108496. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.10849>
62. Hertwig, C., Meneses, N., Mathys, A. (2018). Cold atmospheric pressure plasma and low energy electron beam as alternative nonthermal decontamination technologies for dry food surfaces: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 77, 131-142. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.011>
63. Report from the commission to the European parliament and the council on food and food ingredients treated with ionizing radiation for the year 2018-2019, European Commission, Brussels, 24.2.2021 COM (2021) 79 final. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0079> Accessed September 20, 2022
64. Delorme, M. M., Guimarães, J. T., Coutinho, N. M., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Silva, R., Cruz, A. G. (2020). Ultraviolet radiation: An interesting technology to preserve quality and safety of milk and dairy foods. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 146-154. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.001>
65. Josephson, E. S., Peterson, M. S. (Eds.). (1982). Preservation of Food by Ionizing Radiation: Volume I (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351076005>
66. Sparrow, A. H., Christensen, E. (1950). Effects of X-ray, neutron and chronic gamma irradiation on growth and yield of potatoes. *American Journal of Botany*, 37, 667
67. Nishihira, J. (2020). Safety of irradiated food. Chapter in book: *Genetically Modified and Irradiated Food*, V. Andersen (Ed.), Academic Press, Vienna. pp. 259-267. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817240-7.00016-4>

68. Ravindran, R., Jaiswal, A. K. (2019). Wholesomeness and safety aspects of irradiated foods. *Food Chemistry*, 285, 363-368. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.002>
69. D'Souza, C., Apaolaza, V., Hartmann, P., Brouwer, A. R., Nguyen, N. (2021). Consumer acceptance of irradiated food and information disclosure – A retail imperative. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 63, 102699. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102699>
70. Bearth, A., Siegrist, M. (2019). “As long as it is not irradiated” – Influencing factors of US consumers’ acceptance of food irradiation. *Food Quality and Preference*, 71, 141-148. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.06.015>
71. Zanardi, E., Caligiani, A., Novelli, E. (2017). New Insights to Detect Irradiated Food: an Overview. *Food Analytical Methods*, 11(1), 224-235. <https://doi.org/10.1007/s12161-017-0992-1>
72. Galati, A., Moavero, P., Crescimanno, M. (2019). Consumer awareness and acceptance of irradiated foods: the case of Italian consumers. *British Food Journal*, 121(6), 1398-1412. <https://doi.org/10.1108/bfj-05-2018-0336>
73. Galati, A., Tulone, A., Moavero, P., Crescimanno, M. (2019). Consumer interest in information regarding novel food technologies in Italy: The case of irradiated foods. *Food Research International*, 119, 291-296. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.065>
74. Portanguen, S., Tournayre, P., Sicard, J., Astruc, T., & Mirade, P.-S. (2019). Toward the design of functional foods and biobased products by 3D printing: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 188-198. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.023>
75. Dick, A., Bhandari, B., Prakash, S. (2019). 3-D printing of meat. *Meat Science*, 153, 35-44. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.03.005>
76. Gorbunova, N.A. (2020). Possibilities of additive technologies in the meat industry. A review. *Theory and Practice of Meat Processing*, 5(1), 9-16. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2020-5-1-9-16>
77. Pereira, T., Barroso, S., Gil, M. M. (2021). Food Texture Design by 3D Printing: A Review. *Foods*, 10(2), 320. <https://doi.org/10.3390/foods10020320>

78. Ulrikh E.V., Verkhoturov V.V. (2022). Features of food design on a 3D printer. A review. *Food systems*. 5(2), 100-106. (In Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-100-106>
79. Kornienko, V. Yu., Minaev, M. Yu. (2022). Trends in the development of 3d food printing. *Food Systems*, 5(1), 23-29. (In Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-23-29>
80. Nachal, N., Moses, J. A., Karthik, P., Anandharamakrishnan, C. (2019). Applications of 3D Printing in Food Processing. *Food Engineering Reviews*, 3, 123-141. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09199-8>
81. Zhang, J., Li, Y., Cai, Y., Ahmad, I., Zhang, A., Ding, Y., Qiu, Y., Zhang, G., Tang, W., Lyu, F. (2022). Hot extrusion 3D printing technologies based on starchy food: A review. *Carbohydrate Polymers*, 294, 119763. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119763>
82. Demei, K., Zhang, M., Phuhongsung, P., Mujumdar, A. S. (2022). 3D food printing: Controlling characteristics and improving technological effect during food processing. *Food Research International*, 156, 111120. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111120>
83. Panghal, A., Vern, P., Mor, R. S., Panghal, D., Sindhu, S., Dahiya, S. (2022). A study on adoption enablers of 3D printing technology for sustainable food supply chain. *Management of Environmental Quality*. <https://doi.org/10.1108/MEQ-03-2022-0056> (unpublished data)
84. Bedoya, M. G., Montoya, D.R., Tabilo-Munizaga, G., Pérez-Won, M., Lemus-Mondaca, R. (2022). Promising perspectives on novel protein food sources combining artificial intelligence and 3D food printing for food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 128, 38-52. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.05.013>
85. Singh, H., Kour, R. (2022). Commercial Market of Food Printing Technologies. Chapter in a book: *Food Printing: 3D Printing in Food Industry*, Sandhu, K., Singh, S. (Eds). Springer, Singapore, pp. 155-176. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8121-9_9
86. Mavri, M., Fronimaki, E., Kadrefi, A. (2021). Survey analysis for the adoption of 3D printing technology: consumers' perspective. *Journal of Science and Technology Policy Management*. <https://doi.org/10.1108/JSTPM-02-2020-0023>

87. Teng, X., Zhang, M., Mujumdar, A. S. (2021). 4D printing: Recent advances and proposals in the food sector. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 349-363. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.076>
88. Ghazal, A. F, Zhang, M., Mujumdar A. S., Ghamry, M. (2022). Progress in 4D/5D/6D printing of foods: applications and R&D opportunities. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2045896> (unpublished data)
89. Cheng, Y., Fu, Y., Ma, L., Yap, P. L., Losic, D., Wang, H., Zhang, Y. (2022). Rheology of edible food inks from 2D/3D/4D printing, and its role in future 5D/6D printing. *Food Hydrocolloids*, 32, 107855. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107855>
90. Scheufele, D. A., Corley, E.A., Shih, T. J., Dalrymple, K. E., and Ho, S.S. (2009). Religious beliefs and public attitudes toward nanotechnology in Europe and the United States. *Nature Nanotechnology*, 4(2), 91-94. <https://doi.org/10.1038/nnano.2008.361>
91. Kriwy, P., and Mecking, R-A. (2012). Health and environmental consciousness, costs of behaviour and the purchase of organic food. *International Journal of Consumer Studies* , 36(1), 30-37. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1470-6431.2011.01004.x>
92. Hingley, M., Mikkola, M., Canavari, M., and Asioli, D. (2012). Local and Sustainable Food Supply: The Role of European Retail Consumer Co-operatives. *International Journal on Food System Dynamics*, 2(4), 340-347. <http://dx.doi.org/10.18461/ijfsd.v2i4.241>
93. Harvey, D., and Hubbard, C. (2013). Reconsidering the political economy of farm animal welfare: An anatomy of market failure. *Food Policy*, 38, 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.11.006>