

TECHNICAL SCIENCES

ТРАДИЦИОННЫЕ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ФРУКТОВ И ОВОЩЕЙ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

Бурак Л. Ч.

*доктор философии в области пищевых наук (PhD), к.т.н.,
директор ООО «БЕЛРОСАКВА», Республика Беларусь, г. Минск.
<https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>*

TRADITIONAL AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR PROCESSING FRUITS AND VEGETABLES. A SUBJECT FIELD REVIEW

Burak L.

*Doctor of Philosophy in Food Sciences (PhD), c. t. s.,
director of BELROSAKVA LLC, Republic of Belarus, Minsk
<https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>*

Аннотация

Основная задача технологического процесса переработки пищевого сырья заключается в продлении срока годности, максимальном сохранении органолептических показателей, пищевой ценности, обеспечении микробиологической стабильности и безопасности готового продукта. Цель работы – обзор современных традиционных и инновационных методов переработки фруктов и овощей, их достоинства и ограничения, а также влияние на качество и пищевую ценность готовых продуктов переработки. Материалом для настоящего обзора послужили научные статьи на английском и русском языке опубликованные за период 2015- 2025 год. Поиск научной литературы по данной теме проводили по ключевым словам в библиографических базах Scopus, Web of science и Google Scholar. При выполнении работы использованы научные методы поиск и скрининг научной литературы, извлечение данных, их анализ, систематизации и обобщения. При отборе публикаций для обзора приоритет отдавали высоко цитируемым источникам. Для обзора предметного поля проведенного исследования использовали алгоритм в соответствии с протоколом PRIZMA. Традиционные методы обработки растительного сырья, такие как бланширование, пастеризация, стерилизация и сушка широко используются в пищевой промышленности для подавления роста микроорганизмов и инактивации ферментов обеспечивая безопасность готового продукта и увеличение срока хранения. Вместе с тем данные методы требуют применения высокой температуры, что может неблагоприятно сказываться на пищевой ценности и органолептических показателях термочувствительных продуктов. Исследования показывают, что снижение температуры обработки может свести к минимуму эти негативные эффекты. Инновационные нетермические технологии, такие как обработка под высоким давлением (HPP), импульсные электрические поля (PEF), омический нагрев, холодная плазма и ультрафиолетовая обработка позволяют более эффективно сохранять питательные вещества и улучшать такие свойства продуктов, как цвет, консистенция и вкус, а также сокращают время обработки, что делает их особенно пригодными для промышленного применения. Однако каждый из этих методов имеет свои ограничения и требует дальнейшего изучения для оптимизации условий обработки. Комбинированное использование традиционных и новых методов может способствовать обеспечению микробиологической стабильности, максимальному сохранению пищевой ценности, органолептических показателей готового продукта. Это позволит не только продлить срок годности продуктов, но и удовлетворить растущие потребности потребителей в качественных продуктах с высокой пищевой ценностью.

Abstract

The main objective of the technological process of processing food raw materials is to extend the shelf life, maximize the preservation of organoleptic indicators, nutritional value, ensure microbiological stability and safety of the finished product. The purpose of the work is to review modern traditional and innovative methods of processing fruits and vegetables, their advantages and limitations, as well as the impact on the quality and nutritional value of finished processed products. The material for this review is scientific articles in English and Russian published in the period 2015-2025. The search for scientific literature on this topic was carried out by keywords in the bibliographic databases Scopus, Web of Science and Google Scholar. When performing the work, scientific methods were used: search and screening of scientific literature, data extraction, analysis, systematization and generalization. When selecting publications for the review, priority was given to highly cited sources. To review the subject field of the study, an algorithm was used in accordance with the PRIZMA protocol. Traditional plant processing methods such as blanching, pasteurization, sterilization and drying are widely used in the food industry to inhibit microbial growth and inactivate enzymes, ensuring the safety of the finished product and increasing shelf life. However, these methods require the use of high temperatures, which can adversely affect the nutritional value and organoleptic properties of heat-sensitive products. Research shows that reducing the processing temperature

can minimize these negative effects. Innovative non-thermal technologies such as high-pressure processing (HPP), pulsed electric fields (PEF), ohmic heating, cold plasma and ultraviolet processing allow for more efficient preservation of nutrients and improvement of such product properties as color, consistency and taste, as well as reduce processing time, which makes them particularly suitable for industrial applications. However, each of these methods has its limitations and requires further study to optimize processing conditions. The combined use of traditional and new methods can help ensure microbiological stability, maximum preservation of nutritional value, organoleptic indicators of the finished product. This will not only extend the shelf life of products but also satisfy the growing needs of consumers for high-quality products with high nutritional value.

Ключевые слова: овощи, фрукты, бланширование, пастеризация, сушка, омический нагрев, высокое гидростатическое давление, импульсное электрическое поле, холодная плазма, пищевая ценность.

Keywords: vegetables, fruits, blanching, pasteurization, drying, ohmic heating, high hydrostatic pressure, pulsed electric field, cold plasma, nutritional value.

Введение

Порча овощей и фруктов и пищевых продуктов их переработки, которая происходит в результате биохимических процессов, а также процессов, вызываемых действием микроорганизмов, является одной из основных проблем пищевой промышленности. Среди всех видов пищевого сырья фрукты и овощи составляют 60% мировых пищевых отходов, так как по причине ненадлежащей послеуборочной обработки около 25%–40% фруктов и овощей теряются до того, как попадают к потребителям [1]. С целью снижения порчи фруктов и овощей от сбора урожая и доставки потребителю, а также увеличения срока их хранения, после сбора урожая необходимо применять предварительную обработку. Существуют и широко используются различные виды предварительной обработки, включая химическую обработку, физическую обработку и новые современные методы обработки [2]. Дезинфекция фруктов и овощей обеспечивает микробную безопасность и качество после сбора урожая за счет инактивации ферментов и микроорганизмов, вызывающих появление неприятного привкуса и неприемлемого изменения цвета. Для дезинфекции фруктов и овощей используются различные вещества, такие как озон, эфирные масла, диоксид хлора, углекислый газ, электролизная вода и органические кислоты [2]. Физические способы обработки овощей и фруктов включают нетермические процессы обработки, такие как высокое гидростатическое давление, импульсное электрическое поле, ультразвук, холодная плазма, УФ-свет, ионизирующее излучение, замораживание, и термические обработки, такие как бланширование горячей водой, бланширование паром, омический нагрев, микроволновый нагрев и т. д. [3-4]. Новые подходы к обработке, которые демонстрируют большую эффективность и устойчивость, имеют решающее значение для повышения качества переработанных фруктов и овощей. Это необходимо для повышения продовольственной безопасности за счет минимизации отходов, предотвращения порчи и обеспечения оптимального использования. Обработка имеет решающее значение для круглогодичного снабжения потребителей фруктами и овощами; без нее удовлетворение потребностей современного городского населения было бы невозможным [5]. Традиционные методы обработки, включая сушку, бланширование, охлаждение, заморозку, пастеризацию

и стерилизацию широко используются для улучшения вкусовых качеств, стабильности и удобства фруктов и овощей во время хранения и транспортировки. Эти методы в основном основаны на применении или удалении тепла для подавления роста микроорганизмов и активности ферментов, тем самым продлевая срок годности и обеспечивая безопасность пищевых продуктов [2]. Такие ферменты, как пектинметилэстераза и полифенолоксидаза, которые могут вызывать нежелательные изменения, инактивируются посредством тепловой обработки для минимизации потерь после сбора урожая. Однако термическая обработка является энергоемкой и трудоемкой и может снижать пищевую ценность и органолептические показатели качества фруктов и овощей за счет ускорения реакций окисления и изомеризации, что может отрицательно повлиять на качество конечного продукта [4-5]. Поэтому необходимы дальнейшие исследования для оптимизации этих технологий или разработки альтернативных методов, которые будут более эффективно сохранять качество и безопасность растительного сырья и продуктов его переработки. Цель работы – обзор современных традиционных и инновационных методов переработки фруктов и овощей, их достоинства и ограничения, а также влияние на качество и пищевую ценность готовых продуктов переработки. Настоящий обзор охватывает как традиционные методы, такие как бланширование, стерилизация, пастеризация, сушка и заморозка, так и передовые методы, такие как омический нагрев, импульсное электрическое поле, обработка под высоким давлением, ультразвук, импульсный свет, холодная плазма, микроволны, радиочастоты, инфракрасные частоты, ультрафиолетовый свет, ионизирующее излучение, обработка озоном. В обзоре рассматриваются принципы работы, технологические характеристики, преимущества и ограничения каждого метода, а также их влияние на качество фруктов и овощей.

Материалы и методы исследования

Материалом для настоящего обзора послужили научные статьи на английском и русском языке опубликованные за период 2015- 2025 год. Поиск научной литературы по данной теме проводили по ключевым словам в библиографических базах Scopus, Web of science и Google Scholar. При выполнении работы использованы научные методы поиск и скрининг научной литературы, извлечение данных, их анализ, систематизации и обобщения.

При отборе публикаций для обзора приоритет отдавали высоко цитируемым источникам. Для обзора предметного поля проведенного исследования использовали алгоритм в соответствии с протоколом PRIZMA.

Результаты и их обсуждение

1. Традиционные методы обработки фруктов и овощей

1.1 Бланширование

Перед сушкой, замораживанием или консервированием фруктов и овощей часто используют бланширование – термический способ обработки для ускорения процесса сушки, инактивации ферментов, сохранения сенсорных качеств, таких как цвет, вкус и пищевая ценность, а также снижения микробиологической обсемененности и для увеличения срока хранения овощей. В ходе процесса бланширования в горячей воде температуру обычно поддерживают от 70 до 100 °C [4]. Под действием высокой температуры может произойти значительное снижение качества, потеря водорастворимых питательных веществ. Следовательно, для минимизации этих потерь требуется оптимальное сочетание температуры и времени [6]. По данным Zhang et al. [7] бланширование зубчиков чеснока при 100 °C в течение 45 с перед замораживанием улучшило сохранение микроструктуры, сероорганических соединений, сенсорных свойств и питательной ценности замороженного чеснока. Авторы Kumara et al. [8] установили, что бланширование горячей водой (60 °C, 2 мин) отдельно или в сочетании с лимонной кислотой (0,3%) было эффективным способом предотвращения потемнения гуавы из-за обезвоживания. Результаты исследований Song et al. и Saldivar et al. [9] показали, что при бланшировании в горячей воде соевых бобов происходило разрушение хлорофилла А и В, а также потеря растворимых сахаров, аминокислот и витаминов, минимальная потеря питательных веществ наблюдалась при высоких температурах в течение короткого времени (100 °C, 10 мин). В результате инактивации ферментов пероксидазы и каталазы в моркови бланшированием при 95 °C в течение 5 мин позволило максимально сохранить каротин и витамин С, а также обеспечить максимальный выход морковного сока (55%) [9]. Результаты многочисленных исследований подтвердили снижение содержания аскорбиновой кислоты в сладкой кукурузе, брокколи и моркови [4] при увеличении времени бланширования, что необходимо для эффективной потери активности пероксидазы. Продолжительность процесса бланширования существенно влияла на общее содержание фенолов, антиоксидантную способность и минеральный состав зеленых листовых овощей. Происходило значительная потеря биологически активных веществ в листовых овощах при бланшировании более 1–5 мин [4]. Наилучшие условия бланширования манго были определены как 98 °C в течение 30 с, что приводит к самым высоким концентрациям фенольных соединений, антиоксидантной активности, а также инактивации окислительных ферментов и микроорганизмов [4]. Бланширование служит нескольким

целям: оно останавливает ферментативную активность, ответственную за порчу, сохраняет цвет, текстуру и питательные вещества, а также снижает микробную нагрузку. Обычные процессы после бланширования включают заморозку, сушку, консервирование или вакуумную упаковку для увеличения срока годности и сохранения качества продукта [4,9]. Бланширование избирательно ингибирует такие ферменты, как пероксидаза, липоксигеназа, полифенолоксидаза, полигалактуроназа и хлорофиллаза, что может отрицательно повлиять на органолептические свойства и пищевую ценность овощей. Среди них пероксидаза является наиболее термостойкой, требующей длительного нагревания для полной инактивации. Чрезмерное бланширование может привести к значительной потере питательных веществ и увеличению эксплуатационных расходов [4]. Несмотря на эти недостатки, бланширование по-прежнему эффективно для продления срока годности, обеспечения безопасности пищевых продуктов и предотвращения порчи. Поэтому тщательная оптимизация параметров бланширования имеет важное значение для баланса инактивации ферментов с сохранением питательных веществ. Несколько других новых методов могут использоваться в комбинации с бланшированием для улучшения качества и безопасности пищевых продуктов.

Обработка высоким давлением (HPP) — это сложный «нетермический» способ обработки фруктов и овощей. Он воздействует путем равномерного применения изостатического высокого давления (обычно 100–600 МПа) к обрабатываемому продукту. Это воздействие разрушает клеточные структуры вегетативных бактерий, убивая их. Данный метод минимально влияет на качество пищи, сохраняя сенсорные, функциональные и питательные характеристики фруктов и овощей [4,11]. Обработка высоким давлением (HPP) продлевает срок годности за счет инактивации микроорганизмов, в то время как бланширование помогает сохранить текстуру, цвет и вкус конечного продукта [12,13]. Исследователи оценили влияние обработки давлением (100–200 МПа в течение 10–20 мин) и бланширования на сладкий зеленый и красный болгарский перец. Оба метода эффективно инактивировали полифенолоксидазу. Однако обработанные под давлением перцы показали минимальные потери растворимого белка и аскорбиновой кислоты, а красные перцы показали увеличение аскорбиновой кислоты на 15–20 % по сравнению с необработанными образцами [9].

Технология импульсного электрического поля (PEF) — это технология обработки пищевых продуктов, которая использует электропорацию для инактивации микробов, сохраняя при этом питательные, функциональные и сенсорные свойства пищи с минимальными изменениями [4,14]. Применение PEF перед бланшированием овощей, особенно в продуктах, погруженных в воду, дает значительные преимущества. Исследования показывают, что обработка методом PEF значительно повышает эффективность бланширования моркови.

В условиях 50–150 Гц, 1–1,67 кВ/см и проводимости 1,5–3,5 мСм/см она достигала скорости нагрева в 1,5–2 раза быстрее, чем среда, обеспечивая равномерный нагрев при начальной температуре 80 °C [15]. Этот метод сокращает время бланшировки на 60% по сравнению с традиционными методами, полностью инактивирует полифенолоксидазу при 85°C и повышает биодоступность β -каротина посредством электропорации, сохраняя при этом консистенцию.

Ультразвуковая бланшировка (UAB) использует высокочастотные звуковые волны для улучшения теплопередачи, что значительно сокращает время бланшировки и улучшает качество продукта. Этот метод эффективно снижает ферментативную активность при рабочих условиях 65 °C в течение 10 минут, достигает 36,0% снижения активности полифенолоксидазы (ПФО) и $99,5 \pm 1,0\%$ снижения активности пероксидазы (ПОД) в ломтиках гуавы, одновременно улучшая цвет и текстурные характеристики [4,9].

Микроволновая (СВЧ) бланшировка использует диэлектрические свойства для нагрева материалов путем выравнивания полярных молекул с осциллирующими электромагнитными полями. Это молекулярное вращение увеличивает кинетическую энергию, эффективно повышая температуру материала. Метод обеспечивает быстрый и равно-

мерный нагрев, что делает его превосходной альтернативой обычной бланшировке. Дополнительным преимуществом СВЧ-бланшировки является сокращение времени инактивации ферментов и минимизации потерь питательных веществ, включая витамины, пигменты и водорастворимые компоненты, при сохранении общего качества пищи [4]. Бланшировка манго с помощью СВЧ-излучения показала превосходное сохранение качества по сравнению с традиционными способами. Она обеспечила улучшенное сохранение общего витамина С по сравнению с традиционным методом бланшировки. В отличие от традиционной бланшировки, которая приводит к выщелачиванию и деградации питательных веществ из-за воздействия тепла, микроволновая обработка значительно снижает потери питательных веществ, сокращает время бланшировки и более эффективно сохраняет пищевую ценность манго [9]. Интеграция современных методов, таких как HPP, PEF, ультразвук и микроволновое бланширование, может минимизировать недостатки обычного бланширования. Эти комбинированные методы повышают безопасность продукта, сенсорное и питательное качество, а также эффективность обработки [4].

Преимущества и ограничения традиционных методов, включая бланширование, стерилизацию, пастеризацию, сушку и замораживание представлены в Таблице 1.

Таблица 1.

Традиционные методы переработки фруктов и овощей [9].

| Метод обработки | Принцип действия | Преимущества | Недостатки |
|-----------------|--|--|--|
| Бланширование | Обработка горячей водой 70-100°C | Инактивирует ферменты, удаляет антипитательные вещества, увеличивает скорость сушки. | Вымывание питательных веществ, высокие затраты энергии и воды |
| Пастеризация | Термическая обработка (65–85°C) в течение определенного времени (от нескольких секунд до получаса) | Уничтожает вегетативные микроорганизмы, подавляет ферментативную активность, увеличивает срок хранения | Требуется немедленного охлаждения после обработки, ухудшение цвета и текстуры |
| Стерилизация | Мгновенный нагрев (>100°C) внутри тары (упаковки) | Уничтожает все жизнеспособные микроорганизмы, продлевает срок хранения при температуре окружающей среды | Ухудшение питательных свойств, цвета и вкуса; высокие энергетические затраты; длительный процесс |
| Сушка | Термическая обработка для снижения активности воды в пищевых продуктах | Делает продукты питания удобными для транспортировки и хранения, увеличивает срок годности и коммерческую ценность. | Длительный процесс, частичная потеря питательных веществ и сенсорных качеств |
| Замораживание | Фазовый переход через отвод тепла | Подавляет рост микробов, замедляет биохимические изменения | Изменения текстуры (усадка), потеря капель, высокие затраты на электроэнергию и установку |
| Измельчение | Механические операции, такие как измельчение, нарезка ломтиками, очистка и т. д. | Увеличивает отношение площади поверхности к объему, обеспечивает однородность и гомогенность, способствует разделению и сортировке | Увеличивает частоту дыхания, изменяет уровень этанола и этилена, усиливает неприятные запахи, снижает осмотический потенциал |

Краткий обзор влияния традиционных методов обработки на качество фруктов и овощей представлены в Таблице 2.

Таблица 2.

Влияние традиционных методов обработки на качество фруктов и овощей [5,9,10].

| Методы обработки | Фрукты/овощи | Влияние на качество | Выводы |
|---|--------------------------------|---|---|
| Бланширование | Брокколи, морковь, шпинат | Сохраняет цвет; значительная потеря витамина С и фолиевой кислоты. | Эффективен для инактивации ферментов, но приводит к умеренной потере питательных веществ. |
| Пастеризация | Апельсиновый сок, томатный сок | Потеря витамина С и небольшие изменения вкусовых качеств из-за нагревания. | Сочетает микробную безопасность и сенсорное качество. |
| Стерилизация | Ананас, манго, горошек | Потеря водорастворимых витаминов; размягчение текстуры и изменение вкуса. | Продлевает срок хранения; существенно влияет на текстуру и питательные свойства. |
| Конвективная сушка (духовка с горячим воздухом) | Яблоки, бананы, помидоры | Концентрирует сахара и ароматические вещества; значительная потеря витамина С и антиоксидантов. | Эффективно для хранения; потеря питательных веществ зависит от метода сушки (например, на солнце или путем сублимационной сушки). |
| Замораживание | Клубника, черника, горошек | Сохраняет антиоксиданты и большинство питательных веществ; текстура может стать кашеобразной после размораживания. | Эффективное сохранение питательных веществ: изменение текстуры зависит от скорости замораживания. |
| Измельчение | Морковь, яблоки, капуста | Увеличение площади поверхности ускоряет окисление, что приводит к потере питательных веществ (например, к деградации витамина С). | Облегчает дальнейшую обработку, но увеличивает риск порчи. |

1.2. Пастеризация

Пастеризация - метод консервирования, в процессе которого происходит уничтожение вегетативных форм микроорганизмов, включая патогенные бактерии в жидких средах или пищевых продуктах, путем нагревания при определенной температуре в течение определенного периода времени. Диапазон температур для процесса пастеризации обычно находится в пределах от 62 °C до 100 °C, а время может варьироваться от менее секунды до тридцати минут в зависимости от метода пастеризации. Температура и время пастеризации партии продукта составляет 63 °C в течение 30 минут. Для более высокой температуры пастеризации 72 °C применяется более короткое время - 15 секунд [4]. Эта пастеризация при 72 °C известна под названием кратковременная высокотемпературная пастеризация (HTST). Другой процесс пастеризации - это кратковременная высокотемпературная пастеризация (HHST). Процесс HHST ведут в течение одной секунды при температуре 89 °C. Большинство устройств для пастеризации предназначены для жидких продуктов, таких как фруктовые и овощные соки, и ориентированы на точные комбинации времени и температуры. Процедура подразумевает нагрев продукта до заданной температуры и поддержание ее в течение определенного периода. Эффективность в основном зависит от продолжительности времени выдержки, а не от колебаний температуры во время нагрева и охлаждения, что

гарантирует равномерную микробную инактивацию и поддержание качества [4,16]. Несмотря на свои преимущества, пастеризация, как установлено, отрицательно влияет на питательную ценность некоторых продуктов, например термическая обработка клубничного сока значительно снижала его содержание витамина С, антиоксидантную способность и общее количество антоцианов [4]. Аналогичным образом, было показано, что пастеризация снижает активность и уровни термочувствительных биоактивных соединений, таких как витамин А, общее количество каротиноидов, полифенолов и витамина С в различных продуктах, включая пюре и соки манго [4,17]. Традиционные методы также влияют на пищевой состав консервированных фруктов, таких как манго, папайя и личи, вызывая заметное снижение вкусовых качеств и сенсорных характеристик (таких как цвет, вкус и аромат) в конечном продукте [4]. Для решения этих проблем инновационные технологии пастеризации могли бы способствовать сохранению питательных и функциональных свойств продуктов, обеспечивая при этом их безопасность и срок годности. Обработка под высоким давлением (HPP), также известная как высокогидростатическая обработка (ННР), высокое изостатическое давление или сверхвысокая обработка (УНР), является инновационным, нетрадиционным методом, широко используемым при изготовлении свежего сока [4,5]. Этот метод эф-

фективно устраняет бактерии и ферменты, вызывающие порчу, путем применения гидростатического давления в диапазоне от 100 до 1000 МПа при поддержании низкой температуры обработки. Wu et al. установили, что метод НРР эффективно стерилизует ананасовый сок, сохраняя его цвет, питательные вещества и биологически активные соединения во время хранения, благодаря пониженной температуре обработки, используемой при стерилизации. Импульсное электрическое поле (PEF) является еще одним нетермическим методом консервирования для пастеризации жидких пищевых продуктов. PEF инактивирует бактерии и снижает активность ферментов путем применения коротких электрических импульсных полей (0,1–100 кВ/см) между электродами без использования тепла или химикатов [5,18]. Обработка фруктовых соков методом PEF применяют для продления срока годности, подвергая микробные клетки воздействию электрического поля, которое разрушает их мембраны и увеличивает их проницаемость. Этот метод снижает жизнеспособность микробов, обеспечивает микробиологическую стабильность и позволяет использовать более низкие температуры обработки, тем самым сохраняя качество сока и уменьшая термическую деградацию [2,5,18]. В ходе научных исследований установлено, что инновационные технологии, такие как обработка под высоким давлением и импульсное электрическое поле для пастеризации, более эффективны для сохранения пищевой ценности фруктовых и овощных соков, чем традиционные процессы пастеризации.

1.3. Стерилизация

Целью стерилизации является обеспечение безопасности пищевых продуктов в процессе длительного хранения при температуре окружающей среды. Несмотря на растущий потребительский спрос на минимально обработанные продукты, похожие на свежие, особенно на растительной основе, значительный процент пищевых продуктов по-прежнему подвергается стерилизации при температуре 121 °C и консервируется в рассолах или сиропах [2,5]. Многочисленные фрукты и овощи содержат многие биологически активные вещества, которые претерпевают различные химические превращения при нагревании, что приводит как к полезным, так и к негативным последствиям, включая длительный срок хранения, сохранность и круглогодичную доступность [2,5]. Тем не менее, стерилизация может оказывать негативное влияние на качество продуктов. Сливы и ренклод могут ухудшаться по качеству во время консервирования, а верхние слои банок иногда могут слегка коричневеть. Кроме того, многие фрукты, такие как клубника, малина и ежевика, в процессе стерилизации обесцвечиваются, что негативно сказывается на внешнем виде и покупательской способности. Для повышения пищевой ценности, безопасности и качества консервированных фруктов и овощей растет интерес к интеграции термической стерилизации с передовыми технологиями обработки. PATS (термическая стерилизация под давлением) и MATS (термическая стерилизация с помощью микроволн)

— это методы обработки, которые сочетают высокое давление и микроволны с повышенной температурой для эффективной инактивации бактериальных спор. Al-Ghamdi S и др. оценили влияние стерилизации под давлением (PATS) на качество и пищевой состав овощных пюре (тыквы, кабачка, гороха, свеклы и фиолетового картофеля) [19]. Метод PATS, который включает нагревание до 98 °C, а затем обработка при 600 МПа и 90 °C в течение 5 минут, инактивировал от 9 log10 спор *Bacillus* во всех пюре. Хлорофилл и β -каротин продемонстрировали стабильность с незначительным изменением оттенка (ΔE) в пределах воспринимаемого порога. Метод PATS обеспечивает более деликатный подход к стерилизации, сохраняя питательные вещества и качество, что делает его эффективным альтернативным методом стерилизации для производства безопасных, высококачественных продуктов с длительным сроком хранения. В системе MATS упакованные продукты одновременно нагреваются до 120°C с использованием напорной водяной бани и микроволновой энергии на частоте 915 МГц, выдерживаются для стерилизации, а затем быстро охлаждаются. Поскольку теплопередача способом MATS происходит быстрее, воздействие на сенсорные свойства, вероятно, будет меньше, чем у ретортированных пакетов или банок. Marszałek и другие установили, что MATS (20 кВт, 120 °C в течение 12 с) заметно эффективнее чем традиционная термическую обработку (90 °C в течение 15 мин) в сохранении качества клубничного пюре [20]. Обработка MATS обеспечила сохранение 93% полифенолов, 80% антоцианов и 52% витамина C, сохранив при этом аналогичный цвет и характеристики свежести. Вместе с тем она незначительно снижала микробиологическую обсемененность (снижение микробного числа (1 log) и продемонстрировала менее эффективную инактивацию ферментов (PPO и POD), что указывает на потенциал для оптимизации. Peng, Tang, Barrett, et al. аналогичным образом установили, что стерилизация методом MATS (915 МГц) для предварительно упакованной моркови сохранила текстуру и содержание каротиноидов, сопоставимые с обычной тепловой обработкой, при этом сократив время обработки на 7 минут, что показывает ее эффективность и потенциал для улучшения процесса [21]. Таким образом, интеграция традиционной стерилизации с новыми методами может помочь повысить безопасность, качество и пищевую ценность консервированных фруктов и овощей.

1.4. Сушка овощей и фруктов

Процесс сушки удаляет влагу из продуктов питания посредством массо- и теплопередачи, что делает ее эффективным методом сохранения продуктов с высоким содержанием влаги, таких как фрукты и овощи, которые подвержены бактериальному гниению. Сушка значительно продлевает срок годности по сравнению со свежими продуктами за счет снижения активности воды [22]. Тем не менее, сушка горячим воздухом часто снижает или изменяет полезные для здоровья фитохимические веще-

ства во фруктах и овощах. Хотя ее часто используют для продления срока годности скоропортящихся продуктов, сушка теплом может отрицательно влиять на уровни и активность биоактивных химических веществ, что приводит к нежелательным изменениям. Более того, повышенные температуры могут инициировать взаимодействия между белками (аминокислотами) и углеводами, примером чего является реакция Майяра, что приводит к образованию нежелательных химических веществ и пигментации [23]. При сушке горячим воздухом красного перца, артишока и моркови повышенные температуры сушки привели к снижению общего содержания фенолов [23]. Сушка моркови при температурах от 60°C до 75°C привела к значительным потерям фенольных веществ, что указывает на то, что как продолжительность сушки, так и температура влияют на сохранение содержания фенолов. [2]. С целью снижения биологически активных соединений целесообразно использовать комплексные стратегии, включающие инновационные методы с более низкими температурами и сокращенной продолжительностью сушки. Комбинирование современных методов с традиционной сушкой может улучшить общее качество и рыночную стоимость сушеных фруктов и овощей. Инновационные методы, такие как сублимационная сушка и микроволновая сушка, способствуют максимальному сохранению качества продукта. Hidangmayum, K. S., Hulle, N. R. S., & Rao, P. S. установили, что предварительная обработка высоким давлением (100–300 МПа в течение 5–15 мин) значительно повлияла на характеристики сушки и качественные параметры свеклы во время сушки на воздухе при температуре 50–70 °C и скорости воздуха 1–2 м/с [24]. Обработка высоким давлением (НРР) ускорила скорость сушки, сократив время сушки до 20% для образцов, обработанных при 300 МПа, и на 4% при 100 МПа. Улучшения качества были очевидны, поскольку образцы, обработанные НРР, показали минимальные изменения цвета по сравнению с образцами, обработанными термически. Снимки SEM показали, что НРР увеличила поры в микроструктуре свеклы, что позволило больше влаги испаряться быстрее, чем при термической обработке. Оптимальным условием НРР было признано давление 200 МПа в течение 5 мин с последующей сушкой при температуре 70°C со скоростью воздуха 2 м/с, что привело к получению высококачественного высушенного продукта с улучшенными характеристиками. Подводя итог, можно сказать, что внедрение сложных методов сушки, таких как микроволновая многоспешечная сушка (MWMFD) и предварительная обработка высоким давлением (НРР) наряду с традиционными процедурами, значительно повышает качество сушеных фруктов и овощей. Эти методы улучшают текстуру, пористость, сохранение цвета и эффективность сушки, что приводит к получению улучшенных продуктов с более высоким сохранением качества.

1.5. Замораживание

Замораживание объединяет консервирующие свойства низких температур с кристаллизацией воды в лед, делая ее неэффективной в качестве растворителя. Снижение температуры продукта ниже точки замерзания затрудняет биохимические процессы после сбора урожая и ограничивает микробную активность, тем самым эффективно предотвращает порчу [25]. Размеры и расположение кристаллов льда, образующихся во время замораживания, могут поставить под угрозу стенки клеток, нарушая структурную целостность и потенциально снижая конечное качество продукта после размораживания. Предварительная обработка, проводимая перед замораживанием, обычно применяемая для инактивации ферментов и сохранения качества продукта, также может влиять на клеточные структуры, что приводит к таким осложнениям, как изменение цвета, потеря капель, размягчение текстуры и уменьшение питательных веществ и биоактивных компонентов [2,25]. При размораживании эти ферменты могут изменять пектины и гемицеллюлозы, что приводит к дополнительной деградации клеточных стенок и клеточному распаду. Это приводит к развитию более широких межклеточных пространств, вызывая значительные изменения цвета, вкуса, текстуры и питательной ценности продукта. Существует множество других новых технологий, интегрированных с замораживанием, включая осмотическое обезвоживание, ультразвук и высокое давление. Эти барьерные технологии могут снизить стоимость обработки, сохраняя при этом качество продукции [25]. Ультразвук способствует увеличению скорости замораживания, что в основном влияет на образование зародышей, рост кристаллов льда, массу и теплоперенос во время процесса замораживания пищевых продуктов. Результаты проведенных исследований подтвердили, что применение ультразвука в процессе замораживания способствует ускорению процесса замораживания, тем самым сокращая время замораживания. Авторы Xin, Ying, Min Zhang et.al. исследовали время замораживания брокколи в процессе воздействия ультразвуком (0,33 Вт/см²), 40 кГц) и обработке осмодегидрофризоном. Установлено, что время замораживания (10 мин) брокколи обработанного осмодегидрофризоном с ультразвуковым воздействием было явно короче, чем у негидратированных (19,8 мин) [26]. Xu et al. оценили влияние применения ультразвука (0,09, 0,17, 0,26 и 0,37 Вт/см², 20 кГц) при иммерсионной заморозке на время замораживания красной редьки, отметив, что время замораживания красной редьки с воздействием ультразвуком мощностью 0,09, 0,17, 0,26 и 0,37 Вт/см² составило 792, 744, 722 и 806 с соответственно. При этом время замораживания красной редьки с обработкой ультразвуком мощностью 0,26 Вт/см² было меньше, чем при других интенсивностях мощности [16]. В ходе исследования Zhu et al. о влиянии ультразвука различных частот (20, 28 и 40 кГц) на скорость замораживания картофеля, установлено, что время замораживания уменьшается с увеличением

числа ультразвуковых частот. Общее время замораживания картофеля сократилось на 30,1%, 41,5% и 48,1% при трех частотах (20, 28 и 40 кГц), двух частотах (20 и 28 кГц) и одной частоте (20 кГц) соответственно [27]. Следует отметить, что тройные частоты способствовали самому минимальному времени замораживания и наибольшей скорости замораживания, потому как многочастотный ультразвук может улучшать кавитационные эффекты, создавая больше кавитационных пузырьков, индуцировать новые ядра кавитации и улучшать теплопередачу, тем самым сокращая время замораживания. Согласно результатам вышеуказанных исследований, параметры ультразвука (интенсивность, частота, время и температура) способны улучшить процесс замораживания. Lammerskitten et al. исследовали влияние предварительной обработки PEF на микроструктуру сублимированных кубиков клубники. Согласно исследованию, обработка сублимированных образцов с помощью PEF при напряженности электрического поля 1,07 кВ/см и удельной потребляемой энергии 1 кДж/кг улучшает распределение влаги, что помогает образцам лучше сохранять свою форму, объем и визуальное качество [28]. Клубника, обработанная PEF, была более хрустящей из-за увеличенного количества пор, тогда как необработанные образцы оставались плотными и

твердыми. Важно отметить, что обработка PEF сохранила внутреннюю структуру, о чем свидетельствует тот факт, что она привела к большей потере массы после термической дезинтеграции. Результаты показывают, что PEF работает как предварительная обработка для улучшения качества сублимированных продуктов, особенно с точки зрения их текстуры и структурной целостности.

2. Инновационные технологии переработки овощей и фруктов

За последние десятилетия разработаны перспективные высокоэффективные методы обработки пищевых продуктов, благодаря которым можно производить безопасные, высококачественные продукты питания с длительным сроком хранения. Эти инновационные методы включают в себя различные технологии, такие как омический нагрев (ОН), импульсные электрические поля (ИЭП), обработка высоким давлением (ОВД), ультразвук (УЗ), импульсный свет (ИС), холодная плазма (ХП), микроволны, радиочастоты (РЧ), инфракрасный нагрев (ИН), ультрафиолетовый свет (УФ), ионизирующее излучение (ИИ) и обработка озоном (ОО). Краткий обзор инновационных технологий, их достоинства и ограничения при обработке овощей и фруктов представлены в Таблице 3.

Таблица 3.

Обзор инновационных технологий,
их достоинства и ограничения при обработке овощей и фруктов [2, 4, 9, 29]

| Метод обработки | Принцип действия | Преимущества | Ограничения |
|-------------------------------|---|---|---|
| Омический нагрев | Продукт действует как электрический проводник, вырабатывая тепло посредством приложенной разности потенциалов (50–60 Гц). | Быстрый и равномерный нагрев; низкие эксплуатационные расходы; энергоэффективность снижает загрязнение поверхности | Высокие капитальные затраты, сложное распределение электрического поля, ограничения по вязкости и проводимости пищевых продуктов |
| Импульсное электрическое поле | Высоковольтные импульсы (60–80 кВ) создают трансмембранный потенциал, приводящий к электропроницаемости. | Сохраняет органолептические показатели продукта; низкое потребление энергии; непрерывный процесс | Воздушные поры влияют на однородность; зазор между электродами и напряженность электрического поля имеют решающее значение; для продления срока годности требуется охлаждение |
| Обработка высоким давлением | Высокое давление разрушает молекулярные структуры, инактивируя микроорганизмы и ферменты. | Сохраняет свежесть, сохраняет органолептические и питательные показатели качества, уничтожает вегетативные микроорганизмы | Высокая стоимость настройки; ограничивается пакетной или полупрерывной обработкой |
| УЗ | Кавитация и сдвигающие силы усиливают массоперенос и инактивацию микроорганизмов. | Увеличивает скорость массопереноса и экстракции, частично инактивирует микробы | Высокое энергопотребление; зонд должен напрямую контактировать с пищей |
| Импульсный свет | Высокоинтенсивные световые импульсы разрушают патогенные клетки | Сохраняет сенсорные и питательные свойства; быстрая и равномерная дезинфекция | Может изменить вкус и цвет; высокая стоимость установки |

| | | | |
|------------------------|--|---|--|
| Холодная плазма | Ионизированный газ (фотоны, ионы) создает поры, разрушает клеточные мембраны и инактивирует микроорганизмы. | Сохраняет сенсорную и пищевую ценность; эффективен против патогенов; улучшает функциональные свойства продуктов питания | Ограниченное проникновение; только поверхностная обработка; высокие капитальные затраты |
| Микро-волновая печь | Электромагнитное излучение (900–2450 МГц) генерирует объемный нагрев за счет диэлектрического трения. | Быстрый, равномерный нагрев; небольшая занимаемая площадь | Ограниченная глубина проникновения; влияет содержание влаги в продукте; высокая стоимость оборудования |
| Радиочастота | Электромагнитная энергия (13,56–40,68 МГц) создает колебательные дипольные моменты | Быстрое и равномерное приготовление; низкие энергозатраты; сохраняет летучие соединения | Высокая стоимость установки; эффективность зависит от вязкости и содержания воды; узкий диапазон частот |
| Инфракрасное излучение | Инфракрасное излучение (780–1400 нм) нагревает пищу, испускающая волны определенной длины. | Простой, недорогой; равномерная сушка; гигиеничный; легко контролируемый | Ограниченное распределение энергии; низкая проникающая способность; длительное воздействие может вызвать повреждение |
| Ультрафиолетовый свет | Свободные радикалы, образующиеся под воздействием ультрафиолетового света, инактивируют микроорганизмы. | Низкая стоимость; отсутствие остатков химикатов; инактивация микроорганизмов; повышение пищевой ценности | Ограниченная глубина проникновения; потенциальное ухудшение сенсорных качеств |
| Ионизирующее излучение | Свободные радикалы, образующиеся под воздействием радиации, подавляют рост микроорганизмов и скорость дыхания. | Препятствует созреванию; увеличивает регидратацию и выход сока; предотвращает прорастание | Высокие затраты на установку и обработку; радиолитические эффекты |
| Озонирование | Окислительный стресс и свободные радикалы от озона; инактивируют микроорганизмы | Сильное антимикробное действие; низкие эксплуатационные расходы; отсутствие остатков химикатов | Коррозионный на высоких уровнях; высокие первоначальные затраты |

Таблица 4.

Эффективность использования инновационных технологий

| Наименование фруктов или овощей | Способ обработки | Влияние на качество | Эффективность |
|---|-------------------------------|--|--|
| Цитрусовые, листовая зелень, томаты, виноград | Озонирование | Снижение микробиологической порчи винограда; сохранение свежести цитрусовых; увеличение срока годности томатов; дезактивация плесени и бактерий на листовой зелени | Экологически чистый, эффективный для уменьшения порчи и сохранения свежести [30] |
| Томаты, черника | Омический нагрев | Улучшение стабильности цвета томатов и черники | Эффективно обеспечивает сохранение качества термочувствительных фруктов и овощей [29]. |
| Черника, салат, помидор, болгарский перец | Импульсный свет | Снижение микробной нагрузки на болгарский перец; сохранение визуального качества салата; увеличение срока годности черники; повышение безопасности поверхности томатов | Эффективен для дезинфекции, сохраняет цвет и свежесть [4] |
| Ананасовый сок, апельсиновый сок, сок дыни | Импульсное электрическое поле | Улучшение сохранения вкуса апельсинового сока и повышение содержания витамина С | Эффективен для переработки сока и улучшения цвета [2] |

| | | | |
|--|-----------------------------------|--|--|
| Апельсиновый, гранатовый сок | Высокое гидростатическое давление | Улучшает экстрагируемость каротиноидов, флавоноидов, витамина С и антиоксидантную активность соков. | Оптимально подходит для тропических и нежных фруктов с высокой пищевой ценностью [4] |
| Манго | Холодная плазма | Улучшить текстурные и цветовые характеристики, | Перспективный экологически чистый метод стерилизации [4,31] |
| Томаты, черника | Ультразвук | Эффективно для сохранения органолептических показателей термочувствительных фруктов и овощей. | Эффективен для улучшения микробной безопасности и текстуры без нагревания [2,4]. |
| Сладкий картофель, брокколи, шпинат, тыква | Микроволновая печь | Ускоренная сушка тыквы; сохранение цвета шпината и брокколи; незначительная потеря чувствительных к теплу питательных веществ в батате | Подходит для быстрого приготовления, сушки или бланширования овощей [4,32] |
| Персик | Радиочастотная обработка | Снижение ферментативной активности, сохранение характеристик цвета и текстуры. | Энергоэффективный метод улучшения срока годности и борьбы с вредителями [4] |
| Клубника, томат, банан | УФ | Увеличение срока хранения бананов; повышенное содержание фенолов в клубнике; снижение количества вызывающих порчу микроорганизмов в томатах | Эффективен для улучшения пищевой ценности и снижения микробиологической обсемененности [4] |
| Персик, болгарский перец, лук, морковь | Инфракрасное излучение | Снижение времени сушки лука и моркови; улучшенное сохранение бета-каротина в моркови; лучшая сохранность текстуры и цвета у персиков и болгарского перца | Эффективен в качестве предварительной обработки для сушки и улучшения внешнего вида различных фруктов и овощей [33]. |

Омический нагрев представляет собой современный метод термической обработки, основанный на распространении переменного тока по материалу, который генерирует тепло из-за его собственного сопротивления [29]. Количество создаваемого тепла прямо пропорционально току, подаваемому во время процесса. Большинство продуктов питания содержат ионизированные частицы, включая воду и соли. Когда пища подвергается воздействию электрического поля, ионы притягиваются к электроду, который несет противоположный заряд [29,34]. Исследователи все чаще сочетают омический нагрев с другими технологиями обработки фруктов и овощей, такими как выпаривание, бланширование, дегидратация, ферментация, стерилизация, пастеризация и нагрев, для достижения оптимального качества продукта [29,34]. Этот метод предлагает многочисленные преимущества по сравнению с традиционным нагревом, такие как сохранение цвета и содержания микроэлементов в пище, сокращение времени обработки и повышение эффективности. Применение электрического поля дополнительно повышает его эффективность за счет ускорения инактивации бактерий и ферментов, что позволяет использовать более низкие температуры обработки по сравнению с обычным нагревом. Это приводит к экономии энергии на 82–97% и значительно снижает потери продукта по сравнению с традиционными методами [29].

Несмотря на многочисленные преимущества, упомянутые выше, омический метод имеет определенные недостатки [29,34].

Импульсное электрическое поле (ИЭП) — это инновационный метод обработки, который способен обеспечить проницаемость клеток в тканях

фруктов и овощей без значительного повышения температуры в конечном продукте [2,9]. В различных методах обработки ИЭП сочетается с утилизацией пищевых отходов и валоризацией побочных продуктов; механической экстракцией (например, экстракцией сока и масла); резкой/нарезкой (например, производством картофельных чипсов); дегидратацией (например, обычной сушкой, дегидро-сушкой, сублимационной сушкой); охлаждением; или методами уменьшения размера [4,35]. Процедуры ПЭП включают в себя импульсную (<300 Гц) подачу тока под высоким напряжением (50 кВ) в течение очень короткого периода времени (от нескольких микросекунд до нескольких миллисекунд) к целевому продукту [4,35]. Принцип «электропорации» наиболее эффективно объясняет действие ИЭП. Интенсивные электрические поля вызывают обратимые или необратимые повреждения в цитоплазматической мембране в зависимости от напряженности поля; следовательно, они способствуют клеточной утечке. Данное воздействие подавляет или устраняет бактерии и ферменты, вызывающие порчу пищевых продуктов; следовательно, она улучшает безопасность пищевых продуктов, их качество, выход фитохимических веществ и эффективность экстракции [2,4]. Приведенный выше обзор литературы показывает, что сектор переработки фруктов и овощей может использовать технологию ИЭП для увеличения выхода сока, улучшения качества и продления срока годности хранящихся продуктов. Обработка ИЭП также может улучшить извлечение полезных веществ из фруктов и овощей, таких как антиоксиданты и фенолы. Традиционные методы термической обработки рассматривают технологию ИЭП

как эффективную альтернативу, поскольку она сохраняет питательные и сенсорные свойства пищи, достигая необходимого уровня микробной инактивации. Кроме того, по сравнению с типичными процессами термической обработки, технология ИЭП более энергоэффективна и оказывает меньшее воздействие на окружающую среду [2,4].

Обработка высоким давлением (ОВД) - это метод холодной пастеризации, также известный как высокое гидростатическое давление (HPP) или сверхвысокое давление (UHP), который используется для подавления или уничтожения патогенных микроорганизмов, которые ответственны за порчу продукта через давление вместо термической обработки в расфасованных пищевых продуктах [4]. Метод ОВД в основном использует воду в качестве средства для придания пищевым продуктам давления в диапазоне от 100 до 600 МПа. Обработка под высоким давлением гомогенатов фруктов, овощей и свежих трав дает возможность получать продукты, которые по вкусу и пищевой ценности почти такие же свежие, как и исходное сырье.

Ультразвуковая технология — это нетермический метод, который способствует получению качественных продуктов питания за счет улучшения механизмов переноса массы и энергии. Акустическая кавитация — основной принцип ультразвука, в диапазоне 20–100 кГц для инактивации микроорганизмов во время обработки. Кавитация приводит к потере целостности клеток, истончению клеточных мембран, сохранению высоких температур и давлений внутри клеток и образованию свободных радикалов, что в конечном итоге приводит к инактивации микроорганизмов [4,32]. Ультразвук в сочетании с физическими (тепло, высокое давление, импульсные электрические поля, ультрафиолетовое излучение и т. д.) или химическими (например, импульсные электрические поля, ультрафиолетовое излучение и т. д.) методами высокоэффективен для дезинфекции и инактивации микробов. Основное применение ультразвука — разрушение целевых клеток и извлечение внутренних веществ. К другим важным функциям относятся: изменение функциональных свойств, эмульгирование, инактивация ферментов, микробная деcontаминация, пеногашение, кристаллизация, замораживание, сушка и концентрирование [4,32]. В сочетании с другими методами сохранения продуктов питания ультразвук делает процесс более эффективным, сокращает время, необходимое для обработки, и повышает скорость извлечения и выход. Сочетание ультразвука с другими технологиями облегчает поиск экологически чистых решений, особенно в пищевой промышленности.

Импульсный свет является одним из современных методов дезинфекции поверхностей фруктов и овощей. Эти обработки являются экологически чистыми и не приводят к образованию сельскохозяйственных отходов во время обработки [4]. Обработка импульсным светом (PL) использует фотохимические и фототермические процессы для уничтожения бактерий. Чтобы обеспечить быструю

и эффективную микробную инактивацию во фруктах и овощах, PL заменяет непрерывную ультрафиолетовую (УФ) обработку. Этот метод работает с диапазоном длин волн, от ультрафиолета (УФ, 100 нм) до ближнего инфракрасного (NIR, 1100 нм), и это похоже на солнечный свет на очень высоких уровнях (0,01–50 Дж/см²). Эффективность PL в микробной инактивации в основном объясняют его обширным спектром, особенно его компоненту УФ-С. Фотоны УФ-С повреждают микробную ДНК или РНК, изменяя их структуру и функциональность. Интеграция технологии PL с различными другими передовыми и традиционными технологиями обработки, используемыми в различных продуктах питания, может значительно повысить ее эффективность и проложить путь к потенциальному внедрению в промышленных масштабах. Сочетание технологий PL с другими, такими как УФ-излучение, термоультразвуковая обработка (TS), PEF, манотермоультразвуковая обработка, MTS и сверхкритический диоксид углерода, может, таким образом, повысить эффективность процесса дезактивации и споровой инактивации [4].

Холодная плазма (ХП) также известная как «четвертое состояние вещества», представляет собой квазинейтральную газовую фазу, состоящую из частично ионизированных молекул, содержащих ионы, атомы и свободные электроны как в возбужденном, так и в основном состояниях, сохраняя общий нейтральный чистый заряд. Плазма классифицируется по своей интенсивности на высокотемпературную (горячую) плазму и низкотемпературную (холодную) плазму. Холодная плазма, функционирующая при атмосферных температурах, широко используется и может быть далее классифицирована на плазму низкого давления и плазму атмосферного давления [4,31]. Плазма вызывает окислительный стресс, который повреждает клеточные структуры и приводит к генетическим изменениям, которые делают ДНК менее полезной. В итоге это снижает или устраняет микробную нагрузку после обработки. Основными активными формами кислорода (АФК), образующимися в этом процессе, являются перекись водорода, гидроксильные ионы и супероксидные анионы [31]. Метод холодной плазмы использовался для уничтожения или инактивации патогенов. Холодная плазма эффективно используется для нескольких фруктов и овощей и их продуктов, включая яблоки, салат, морковь, помидоры, чернику, черный перец, миндаль и другие готовые к употреблению продукты. Исследования продемонстрировали ее эффективность в инактивации распространенных пищевых микробов, таких как *E. coli*, *Salmonella* и *Listeria monocytogenes*. Кроме того, этот метод оказался успешным в инактивации вирусов и не влияет на качество пищевого продукта, не оставляя токсичных остатков или побочных продуктов [4,31]. Холодная плазма вносит значительный вклад в расщепление ферментов, ответственных за порчу после консервации. Комбинированное использование холодной плазмы с дополнительными физическими обработками, включая мойку, сушку и упаковку, представляет собой

потенциальную стратегию. Например, после того, как фрукты и овощи вымыты и высушены, они могут пройти обработку холодной плазмой для уничтожения любых остаточных патогенов или микроорганизмов порчи. Такая комбинация обработки повышает эффективность холодной плазмы и способствует общему качеству и безопасности продукта [31]. Кроме того, сочетание холодной плазмы с другими технологиями обработки может привести к экономии энергии и снижению общих затрат на процесс. В заключение следует отметить, что сочетание холодной плазмы с другими традиционными методами обработки может повысить эффективность обработки, улучшить общее качество и безопасность продукции, а также снизить затраты на процесс [36].

Обработка озоном обеспечивает широкий спектр бактерицидных свойств благодаря своему высокому окислительному потенциалу, и он занимает меньше времени без остатка, чем традиционные методы дезинфекции, что делает его желательным вариантом для обработки пищевых продуктов. Обычно высоковольтный электрический разряд проходит через воздух или кислородный газ для получения озона. Разряд энергии расщепляет молекулярный кислород на атомарные кислородные радикалы, которые спонтанно реагируют с молекулярным кислородом, образуя молекулы озона. Озонирование — эффективный метод уничтожения микробов путем генерации свободных радикалов, включая гидропероксид, гидроксил и супероксид, которые атакуют основные клеточные компоненты. К ним относятся белки и пептидогликаны в клеточной стенке, ферменты и нуклеиновые кислоты в цитоплазме, а также ненасыщенные липиды. Эти изменения приводят к разрушению клеточной мембраны, что позволяет содержимому клетки выходить наружу и в конечном итоге убивает клетку [4,30]. В различных исследованиях, когда фрукты и овощи подвергаются воздействию озона, он активно инактивирует микроорганизмы, сохраняя их естественные характеристики. Озон — это высоко эффективный, быстрый и безостаточный метод обработки фруктов и овощей. Его мощные бактерицидные свойства помогают нейтрализовать бактерии, сохраняя при этом внутренние качества продукта. Обработка озоном снижает микробную нагрузку, продлевает срок годности и улучшает извлекаемость полезных компонентов, таких как фитохимикаты. Озон служит превосходной альтернативой традиционным методам дезинфекции в пищевой промышленности. Озон как в газообразном состоянии, так и озонированная вода являются эффективными дезинфицирующими средствами, но условия, в которых проводится обработка, могут оказывать существенное влияние на ее конечный результат. Восприимчивость микроорганизмов к озону зависит от pH среды, температуры, скорости потока, времени контакта, влажности, добавок (например, кислот, поверхностно-активных веществ и сахаров), окислительно-восстановительного потенциала, концентрации озона, количества органического вещества в составе обрабатываемого

продукта питания или растительного сырья, а также микробиологической обсемененности естественной микрофлорой сырья или продукта питания, которые подвергаются обработке. Достичь максимального снижения микробной нагрузки возможно при условии постоянной концентрации озона в течение определенного времени [4,30].

3. Выводы

Устойчивая продовольственная система требует разработки и использования современных инновационных методов обработки, которые объединяют эффективность, качество и экологические воздействия. Современные нетрадиционные технологии стерилизации являются перспективными стратегиями обработки пищевых продуктов, имеющими значительные преимущества по сравнению с термической обработкой. Исследования доказали, что HPP, UV, PL, ультразвуковая стерилизация, PEF, облучение и CP могут эффективно обеззараживать патогены пищевого происхождения и обеспечивать безопасность и высокое качество продукции. Использование современных технологий позволит сократить время обработки и снизить производственные затраты по сравнению с традиционными технологиями стерилизации. Вместе с тем широкое промышленное внедрение инновационных технологий затруднено отсутствием серийного выпуска и высокой стоимостью оборудования. Традиционные методы послеуборочной обработки, такие как термическая обработка, использование химических дезинфицирующих средств по-прежнему остаются основным способом и сегодня, но их использование не всегда обеспечивает экономическую эффективность и экологическую безопасность. Использование новейших технологий при послеуборочной обработке урожая фруктов и овощей, должно быть направлено на экономию ресурсов, а не на негативное воздействие на качество продуктов питания и их влияние на срок годности. Комбинированное использование, сочетание двух и более способов обработки во многих случаях приводит к увеличению эффективности технологического процесса. Исследования по оптимизации использования новых технологий и адаптации их к условиям регионов, в среднесрочной перспективе должны проводиться там, где произрастают те или иные овощи и фрукты. Подводя итог следует отметить, что основным решающим фактором при выборе и промышленном использовании современных способов обработки овощей и фруктов является обеспечение качества сырья, микробиологическая стабильность и минимальное влияние технологии обработки на органолептические показатели и пищевую ценность плодовоовощного сырья.

Список литературы

1. Hodder, R. K., O'Brien, K. M., Wyse, R. J., Tzelepis, F., Yoong, S., Stacey, F. G., & Wolfenden, L. (Interventions for increasing fruit and vegetable consumption in children aged five years and under // Cochrane Database of Systematic Reviews. 2024. V.9. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008552.pub8>

2. Бурак Л. Ч. Ограничения и возможности современных технологий обеспечению микробиологической безопасности пищевых продуктов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2024. № 23(396). С. 6-13. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2024.2-3.1>
3. Amit B. S., Yadav, V. P. S., & Chahal, P. K. Knowledge status of onion growers regarding pre and post-harvest management practices // Indian Res. J. Ext. Edu. 2023. V. 23(1).pp. 59–63. https://doi.org/10.54986/irjee/2023/jan_mar/59-63
4. Бурак Л. Ч. Влияние современных способов обработки и стерилизации на качество плодово-овощного сырья и соковой продукции // Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2025. 236 с. ISBN 9785-16-020036-1. <https://doi.org/10.12737/0.12737/2154991>
5. Бурак, Л. Ч. Использование современных технологий обработки для увеличения срока хранения фруктов и овощей. Обзор предметного поля // Ползуновский вестник. 2024. № 1. С. 99-119. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.013>
6. Kim AN, Lee KY, Rahman MS, Kim HJ, Chun J, Heo HJ, Kerr WL, Choi SG. Effect of water blanching on phenolic compounds, antioxidant activities, enzyme inactivation, microbial reduction, and surface structure of samnamul (*Aruncus dioicus* var *kamtschaticus*) // Int J Food Sci Technol. 2020. V. 55(4). pp.1754–1762. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14424>
7. Zhang B, Qiu Z, Zhao R, Zheng Z, Lu X, Qiao X. Effect of blanching and freezing on the physical properties, bioactive compounds, and microstructure of garlic (*Allium sativum* L.). J Food Sci. 2020;86(1):31–9. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15525>
8. Kumara BAMS, Wijewardane RMNA, Samarasinghe YMP. The effect of anti-browning treatments for fresh-cut guava slices in prevention of browning during dehydration. J Agric Sci. 2021;16(1):28–36
9. Srivastava, P. K., & Sit, N. A review on fruit and vegetable processing using traditional and novel methods // Future Postharvest and Food. 2024 V.pp. 1–23. <https://doi.org/10.1002/fpf2.12046>
10. Dar, A. H., Kumar, N., Shah, S., Shams, R., & Aga, M. B. Processing of fruits and vegetables // In Agro-processing and food engineering: Operational and application aspects (pp. 535–579). 2022.Springer Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-16-7289-7_13
11. Sehrawat R., Kaur B. P., Nema P. K., Tewari S., & Kumar L. Microbial inactivation by high pressure processing: Principle, mechanism and factors responsible //Food Science and Biotechnology, 2021. V. 30(1).pp.19–35. <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00831-6>
12. Nema P. K., Sehrawat R., Ravichandran C., Kaur B. P., Kumar A., & Tarafdar A. Inactivating food microbes by high-pressure processing and combined nonthermal and thermal treatment: A review // Journal of Food Quality. 2022.V.1p. 5797843. <https://doi.org/10.1155/2022/5797843>
13. Бурак Л. Ч., Овсянникова Н. Л. Современные способы хранения и упаковки земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) (обзор) // Современное садоводство. 2024.№ 3. С. 34-54.
14. Lytras F., Psakis G., Gatt R., Cebrián G., Raso J., & Valdramidis V. Exploring the efficacy of pulsed electric fields (PEF) in microbial inactivation during food processing: A deep dive into the microbial cellular and molecular mechanisms // Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2024.V. 95. p.103732. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103732>
15. Astráin-Redín L., Raso J., Álvarez I., Kirkhus B., Meisland A., Borge G. I. A., & Cebrián G. New pulsed electric fields approach to improve the blanching of carrots // Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie. 2023. V. 189. P.115468. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103732>
16. Wang H., Shao L., Sun Y., Liu Y., Zou B., Zhao Y., & Dai R. Recovery mechanisms of ohmic heating-induced sublethally injured *Staphylococcus aureus*: Changes in cellular structure and applications in pasteurized milk // Food Control.2024.p. 111086.
17. Ahmed M., & Eun J. B. Flavonoids in fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing: A review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition.2018.V. 58(18).pp.3159–3188 <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1353480>
18. Ali M., Liao, L., Zeng X. A., Manzoor M. F., & Mazahir M. Impact of sustainable emerging pulsed electric field processing on textural properties of food products and their mechanisms: An updated review // Journal of Agriculture and Food Research. 2024.V. 15.p. 101076 <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101076>
19. Al-Ghamdi S., Sonar C. R., Patel J., Albahr Z., & Sablani S. S. High pressure-assisted thermal sterilization of low-acid fruit and vegetable purees: Microbial safety, nutrient, quality, and packaging evaluation // Food Control. 2020.V. 114. P.107233 <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107233>
20. Marszałek K., Woźniak Ł., Skąpska S., & Mitek, M. High pressure processing and thermal pasteurization of strawberry purée: Quality parameters and shelf life evaluation during cold storage // Journal of Food Science and Technology. 2017. V.54(3). pp. 832–841 <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2529-4>
21. Peng J., Tang J., Barrett D. M., Sablani S. S., & Powers J. R. Thermal pasteurization of ready-to-eat foods and vegetables: Critical factors for process design and effects on quality // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2017. V. 57(14).pp 2970–2995 <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1082126>
22. Liu H., Yousaf, K., Yu, Z., Riaz, A., Nyalala, I., Chattha, M. W. A., & Chen, K. Drying process optimization of garlic slices in closed-loop heat pump drying system by Box-Behnken design //Journal of Food Processing and Preservation. 2022. V.46(1). e16190. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16190>
23. Bassey, E. J., Cheng, J. H., & Sun, D. W. Improving drying kinetics, physicochemical properties

- and bioactive compounds of red dragon fruit (*Hylocereus species*) by novel infrared drying // *Food Chemistry*. 2022. V.375, 131886. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131886>
24. Hidangmayum, K. S., Hulle, N. R. S., & Rao, P. S. Effect of high pressure pretreatment on the drying characteristics of the beetroot (*Beta vulgaris*) cubes. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023. V. 11.p. 100493. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100493>
25. Бурак Л. Ч., Сапач А.Н., Писарик М.И. Влияние ультразвука на процесс замораживания и качество замороженных фруктов и овощей // *Вестник Международной академии холода*. 2024. № 1. С. 71-78. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2024-23-1-71-78>
26. Xin, Y., Zhang, M. & Adhikari, B. The effects of ultrasound-assisted freezing on the freezing time and quality of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. botrytis L.) during immersion freezing // *International Journal of Refrigeration*. 2014. V.41.p. 82– 91
27. Zhu Z. et al. Freezing Efficiency and Quality Attributes as Affected by Voids in Plant Tissues During Ultrasound-Assisted Immersion Freezing. *Food and Bioprocess Technology*. Springer New York LLC, 2018. Vol. 11, no 9. P. 1615–1626
28. Lammerskitten, A., Wiktor, A., Mykhailik, V., Samborska, K., Gondek, E., Witrowa-Rajchert, D., Toepfl, S., & Parniakov, O. Pulsed electric field pretreatment improves microstructure and crunchiness of freeze-dried plant materials: Case of strawberry // *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*. 2020.V. 134. p. 110266. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110266>
29. Бурак, Л. Ч., Сапач А.Н. Использование технологии омического нагрева в процессе переработки плодов и овощей. Обзор предметного поля // *Пищевые системы*. 2024. Т. 7, № 1. С. 59-70 <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-1-59-70>
30. Бурак, Л. Ч. Использование озоновой технологии в пищевой промышленности // Минск: Государственное предприятие «СтройМедиаПроект», 2022. 144 с. <https://doi.org/10.12731/978-985-7172-84-9>
31. Бурак, Л. Ч., Сапач А.Н., Завалей А.П. Влияние обработки холодной плазмой на качество и пищевую ценность растительного сырья. Обзор предметного поля // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2024. Т. 14, № 2(49). С. 173-183 <https://doi.org/10.21285/achb.914>
32. Бурак, Л. Ч., Завалей А.П. Эффективность комбинированного воздействия ультразвука и микроволн при обработке пищевых продуктов. Обзор // *Техника и технология пищевых производств*. 2024. Т. 54, № 2. С. 342-357 <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2510>
33. Бурак, Л. Ч., Востриков А. В. Использование технологии каталитического инфракрасного излучения при переработке плодовоовощного сырья. Обзор предметного поля // *Научное обозрение. Технические науки*. 2024. № 4. С. 21-34. <https://doi.org/10.17513/srts.1479>
34. Hamdi, F. M., Altaee, A., Alsaka, L., Ibrar, I., Maryam, A. E., Zhou, J., Samal, A. K., & Hawari, A. H. Iron slag/activated carbon-electrokinetic system with anolyte recycling for single and mixture heavy metals remediation // *The Science of the Total Environment*. 2024. V. 930. p.172516. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172516>
35. Su W., Wang Q., Li, J., Qiu, Z., & Qiu, Y. Effects of pulsed electric field technology on the nutritional value and biological function of plant food // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2024. V.8.p. 1385533. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1385533>
36. Бурак Л. Ч., Ермошина Т.В., Саманкова Н. В. Достижение устойчивого развития за счет использования новых технологий переработки пищевых продуктов // *Фундаментальные исследования*. 2024. № 10. С. 171-179. <https://doi.org/10.17513/fr.43705>