



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.8

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.013



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА ХРАНЕНИЯ ФРУКТОВ И ОВОЩЕЙ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

Леонид Чеславович Бурак

Общество с ограниченной ответственностью «Белпросаква», Минск, Республика Беларусь,
leonidburak@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>

Аннотация. Термическая обработка, замораживание, упаковка в асептических условиях и обработка антимикробными средствами являются основными способами сохранения плодоовощной продукции. Вместе с тем, применяемые способы консервирования могут оказывать отрицательное влияние на качество овощей и фруктов. Поэтому учеными ведется постоянный поиск и разработка новых технологий обработки сырья, которые смогут обеспечить не только безопасность продуктов, но и максимально сохранить их качество и пищевую ценность. Цель статьи – обзор существующих современных технологий обработки плодоовощной продукции, их преимущества и недостатки, а также перспективы промышленного внедрения с целью увеличения срока хранения фруктов и овощей.

В обзор включены статьи на английском и русском языках. Поиск зарубежной научной литературы на английском языке по данной теме проводили в библиографических базах «Scopus» и «Web of Science». Для отбора научных статей на русском языке провели поиск по ключевым словам в «Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU».

Сохранение качества и пищевой ценности самого продукта, обеспечение его микробиологической безопасности и увеличение срока годности являются основными целями предприятий пищевой промышленности. Традиционными способами сохранения продуктов питания, применяемыми в промышленном производстве, являются тепловые методы обработки. Исследования, проведенные в течение более двух десятилетий, направлены на разработку эффективных технологий, гарантирующих не только безопасность пищевых продуктов, но и повышение их качества (улучшение внешнего вида, сохранение пищевой ценности и т. д.), увеличению срока хранения и снижение производственных затрат. Данные технологии известны как «развивающиеся технологии». Примерами их являются высокое гидростатическое давление, электромагнитные импульсы, омический нагрев, холодная плазма, ультрафиолетовая дезинфекция, озонирование, интеллектуальная упаковка. Современные технологии обработки имеют как множество преимуществ, так и некоторые существенные ограничения, которые не позволяют эффективно использовать данные способы обработки в промышленных условиях.

Представленный обзор может служить материалом для других авторов и исследователей, которые проводят научные разработки в данном направлении. Настоящая статья может быть полезна специалистам пищевой промышленности при выборе и внедрении технологии обработки фруктов и овощей.

Ключевые слова: обработка, антимикробные вещества, высокое гидростатическое давление, омический нагрев, ультразвук, электромагнитные импульсы, срок годности.

Для цитирования: Бурак Л. Ч. Использование современных технологий обработки для увеличения срока хранения фруктов и овощей. Обзор предметного поля // Ползуновский вестник. 2024. № 1, С. 99–119. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.013. EDN: <https://elibrary.ru/AQZOQO>.

Original article

USING MODERN PROCESSING TECHNOLOGY TO INCREASE THE SHELF LIFE OF FRUITS AND VEGETABLES. SUBJECT FIELD OVERVIEW

Leonid Ch. Burak

Belrosakva Limited Liability Company, Minsk, Republic of Belarus,
leonidburak@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>

Abstract. Heat treatment, freezing, drying, packaging under aseptic conditions and treatment with antimicrobial agents are the main ways to preserve fruits and vegetables. At the same time, the canning methods used can have a negative impact on the quality of vegetables and fruits, so scientists are constantly searching and developing new technologies for processing raw materials that can ensure not only the safety of products, but also preserve their quality and nutritional value as much as possible. The purpose of the article is to review existing modern technologies for processing fruits and vegetables, their advantages and disadvantages, as well as prospects for industrial implementation in order to increase the shelf life of fruits and vegetables.

The review includes articles in English and Russian. The search for foreign scientific literature in English on this topic was carried out in the bibliographic databases Scopus and Web of Science. To select scientific articles in Russian, we conducted a search using keywords in the "Scientific Electronic Library eLIBRARY.RU".

Preserving the quality and nutritional value of the product itself, ensuring its microbiological safety and increasing shelf life are the main goals of food industry enterprises. Traditional methods of food preservation used in industrial production are thermal processing methods. Research conducted over more than two decades is aimed at developing effective technologies that guarantee not only food safety, but also improve their quality (improved appearance, preserve nutritional value, etc.), increase shelf life and reduce production costs. These technologies are known as "emerging technologies". Examples of these include the use of high hydrostatic pressure, electromagnetic pulses, ohmic heating, cold plasma, the use of ultraviolet disinfection, ozonation, and smart packaging.

Modern processing technologies have both many advantages and some significant limitations that do not allow these processing methods to be used effectively in industrial settings. The presented review can serve as material for other authors and researchers who carry out scientific developments in this direction. The results of this article may be useful to food industry specialists when choosing and implementing technology for processing fruits and vegetables.

Keywords: processing, antimicrobial substances, high hydrostatic pressure, ohmic heating, ultrasound, electromagnetic pulses, shelf life.

For citation: Burak, L.Ch. (2023). Using modern processing technology to increase the shelf life of fruits and vegetables. Subject field overview. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 99-119. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.01.013. EDN: <https://elibrary.ru/AQZOQO>.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных задач, стоящих сегодня перед пищевой промышленностью, является обеспечение качества продуктов питания. Отсутствие порчи и патогенных микроорганизмов в продуктах питания обычно обеспечивается добавлением как различных консервантов, так и антимикробных средств. Поэтому для обеспечения натуральными продуктами, не содержащими консерванты, пищевая промышленность постоянно ищет альтернативные методы обработки пищевых продуктов, отвечающие требованиям потре-

бителей [1]. Фрукты и овощи составляют важную часть рациона людей. Главным образом это связано с высоким содержанием в них витаминов, макро- и микроэлементов, биологически активных веществ, которые способствуют улучшению здоровья и профилактике различных заболеваний. Как правило, их производство дешевле по сравнению с производством продуктов животного происхождения [2]. В связи с ростом населения мира были разработаны различные технологии для производства и улучшения качества продуктов питания. Однако даже при применении

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА ХРАНЕНИЯ ФРУКТОВ И ОВОЩЕЙ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

самых передовых разработок продукты все же подвергаются различным воздействиям, которые ухудшают как органолептические показатели, так и показатели безопасности [3]. Внедрение новых технологий по сохранению и продлению срока годности фруктов и овощей в последние десятилетия вызывает повышенный интерес [4]. Большинство традиционных технологий обработки, используемых в промышленных условиях, позволяет гарантировать, что фрукты и овощи не содержат вредных веществ и патогенных микроорганизмов и пригодны для употребления в пищу [5]. Множество проведенных в течение более двух десятилетий научных исследований посвящены разработке технологий, гарантирующих не только безопасность пищевых продуктов, но и повышение их качества (улучшение внешнего вида, сохранение питательной ценности и т. д.), увеличение срока хранения и снижение производственных затрат. Эти технологии известны как «развивающиеся технологии». Примерами их могут служить высокое гидростатическое давление, электромагнитные импульсы, омический нагрев, холодная плазма, ультрафиолетовая дезинфекция, озонирование, интеллектуальная упаковка [6, 7]. Каждый из этих методов имеет преимущества, ограничения и возможность стать эффективным способом обработки пищевых продуктов. Цель статьи – обзор существующих современных технологий обработки плодовоовощной продукции, их преимущества и недостатки в сравнении с традиционными методами, а также перспективы промышленного внедрения с целью увеличения срока хранения фруктов и овощей.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Поиск зарубежной научной литературы на английском языке по данной теме проводили в библиографических базах «Scopus», «Web of Science» и «Google Scholar». Для отбора научных статей на русском языке провели поиск по ключевым словам в «Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU». Также выполнили обзор научных журналов по тематике исследования. При отборе публикаций для обзора приоритет отдавали высокоцитируемым источникам. Были просмотрены списки литературы отобранных статей для выявления дополнительных релевантных источников информации. В качестве временных рамок для обзора научных публикаций был принят период 2010–2023 гг. Более ранние научные статьи изучали только при от-

сутствии новых публикаций по конкретным аспектам исследуемой темы.

Критерии включения:

(1) Статья написана в период 2010–2023 год;

(2) Статья соответствует теме исследования;

(3) Типы анализируемых статей – оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи.

Критерии исключения:

(1) Статья не соответствует теме данного обзора: не касается тематики существующих современных технологий обработки плодовоовощной продукции, их преимуществ и недостатков, а также перспективы промышленного внедрения с целью увеличения срока хранения фруктов и овощей.

(2) Статья написана не на английском языке; статьи, написанные на русском языке, не включены в РИНЦ.

(3) Содержание статьи дублируется. Если из разных баз данных или разных электронных библиотечных систем были извлечены повторяющиеся источники, их классифицировали только один раз.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обеспечение продуктами питания является одной из важнейших проблем, стоящей перед человечеством. Качество пищевых продуктов и срок их хранения, особенно фруктов и овощей, зависит как от внутренних, так и от внешних условий. Основное влияние на качество растительного сырья могут оказывать физиологические, биохимические, физические, механические и биологические процессы [8, 9]. Согласно многочисленным данным, примерно 40–50 % фруктов и овощей ежегодно используется неэффективно, преимущественно из-за послеуборочного физиологического метаболизма (дыхания и транспирации), неправильных условий хранения (например, газовой среды, температуры и влажности) и порчи, вызванной размножением микроорганизмов. В частности, нарушение температурного режима, влажность и загазованность могут изменить физиологический метаболизм овощей и фруктов, что, в свою очередь, может ускорить порчу [10–11]. Кроме того, физиологические процессы, которые происходят во время послеуборочного хранения, создают дополнительные возможности для заражения микроорганизмами, что является еще одним ключевым элементом ухудшения качества плодовоовощного сырья. Помимо этого инициру-

ется ферментативная активность, которая приводит к ухудшению текстуры и обезвоживанию тканей. В ходе биохимических процессов происходит изменение содержания растворимых сухих веществ, пигментов, полифенолов и органических кислот, а также ферментативное потемнение. Механические повреждения также являются одной из основных причин порчи. Эта проблема может быть очень серьезной во время сбора урожая, она также возникает и во время послеуборочной обработки, особенно во время упаковки и транспортировки. Еще одним определяющим фактором качества фруктов и овощей является температурный режим. Высокие или низкие температуры способны оказывать значительное влияние на плоды и вызывать их повреждение.

1. Традиционные способы обеспечения безопасности и продления срока годности фруктов и овощей

По причине ограниченного срока хранения фруктов и овощей происходят их значительные потери. С этой целью разработаны и широко применяются многие технологии, направленные на обеспечение качества и микробиологической стабильности плодово-овощного сырья. Химические технологии, например, дезинфекция и физические, такие как термическая обработка, применяются с целью сохранения и обеспечения безопасности растительного сырья. Качество собранного растительного сырья также зависит от предуборочных факторов, включая агротехнические приемы. С этой целью в процессе сельскохозяйственного производства овощей и фруктов широко используют пестициды. Они эффективны в качестве защитного барьера от насекомых, грибов, бактерий, вирусов и сорняков, которые оказывают вредное влияние на урожай [12]. По своему происхождению пестициды могут быть природными (растительные экстракты), биологическими (микробиологические препараты), неорганическими и синтетическими. Синтетические препараты используются наиболее широко, благодаря большому спектру действия и эффективности. Каждый из них имеет свою специфику действия, а также имеет порог вредности, который зависит от химических свойств препарата. Кроме того, постоянное использование синтетических пестицидов оказывает вредное воздействие на здоровье людей [13]. Пестициды на основе природных соединений были разработаны для уменьшения вреда здоровью и окружающей среде.

Это такие соединения, как фраксинеллониз растений семейства *Rutaceae* и подофиллотоксин из корней *Podophyllumhexandrum*, которые используются для борьбы с насекомыми-вредителями *Mythimnaseparata* и *Plutellaxylostella*, которые поражают различные зерновые культуры [14]. Другие соединения, такие как эфирные масла эвкалипта, используются в качестве пестицидов из-за их высокой антимикробной активности [15]. Также было установлено, что экстракты *Spirulinaplantensis* и *Sargassumvulgar* вызывают нарушение развития насекомого *Spodopteralittoralis*, сокращая их популяцию. Использование препаратов хлора, растворов этанола и т. д. для дезинфекции фруктов и овощей создает барьер против перекрестного загрязнения и способствует эффективному уничтожению микроорганизмов, находящихся на поверхности [16]. Гипохлорит натрия применяют для устранения остаточных количеств фунгицида манкоцеб из томатов [17]. Диоксид хлора применяется для предотвращения роста *Escherichiacoli* на салате и моркови. Широкое применение в целях химической дезинфекции, для подавления микробной активности получила электролизованная вода, которая основана на принципе электролиза солевых мембран с помощью солевого раствора (обычно натрия хлорид), с использованием токов низкого напряжения [18–19]. Основным действующим веществом, образующимся в этом процессе, является хлорноватистая кислота (HOCl). Установлено, что с помощью этой технологии можно эффективно предотвращать многие послеуборочные болезни фруктов и овощей. Варианты этой технологии включают использование кислотного электролиза, который показал, что может замедлить размягчение пульпы и сохранить более высокие уровни полисахаридов клеточной стенки в свежем лонгане, а также улучшить качество плодов зизифуса (jujube), оказывая влияние на антиоксидантную активность и метаболизм клеточной стенки [20–22].

Термическая обработка

Термическая обработка используется в качестве альтернативы химической обработке, поскольку она меньше загрязняет окружающую среду и не вызывает появления резистентности микроорганизмов. Эта обработка включает такие методы, как бланширование, обработка горячим воздухом, водяным паром. Преимуществами термической обработки являются уменьшение повреждений, вызванных холодом, задержкой созревания плодов и овощей, уstra-

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА ХРАНЕНИЯ ФРУКТОВ И ОВОЩЕЙ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

нение некоторых пестицидов и насекомых, а также контроль появления патогенных микроорганизмов. Обработка может быть кратковременной, с перерывами, или длительной, продолжительностью до 4 дней, в зависимости от вида плода [23]. За исключением бланширования (таблица 1), подавляющее большинство данных процессов нельзя применять к свежим плодам, поскольку им могут быть нанесены необратимые повреждения.

Низкие температуры

Низкотемпературная обработка – один из самых эффективных способов сохранения плодов. Этот метод позволяет сохранить их

органолептические свойства (запах, вкус, консистенцию) при длительном хранении. Он классифицируется по температуре охлаждения: охлаждение (температура от 4 °С до 1 °С), переохлаждение (температура от 0,5 °С до -4 °С), подзамораживание (температура от -4 °С до -14 °С), замораживание (температура от -18 °С до -35 °С). Криогеника применяется также ниже этих температур вплоть до температур, близких к абсолютному нулю [24]. Данный метод широко используется для консервирования моркови, цветной капусты, чеснока, перца, картофеля и многих других плодов (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты температурной обработки плодоовощного сырья

Table 1 – Results of temperature treatment of fruit and vegetable raw materials

Продукт	Обработка	Условия обработки	Эффект	Ссылка
Картофель	Бланширование	45 °С, 10 мин	Стимуляция заживления холодных повреждений и повышение активности флавоноидов, общих фенолов и лигнина	[25]
Горох	Бланширование	45 °С, 20 мин; 50 °С, 1 мин	Увеличение содержания пероксидазы и каталазы	[26]
Сладкий перец	Бланширование	45 °С, 15 мин	Повышение активности ферментов, связанных с аскорбат-глутатионовым циклом, замедление увеличения количества малонового диальдегида	[27]
Абрикосы	Низкотемпературное замораживание	-25 °С; -30 °С; -33 °С; -35 °С	Понижение температуры в процессе замораживания в плодах всех сортов вызвало увеличение сохранности нутриентов. Наименьшие потери нутриентов в абрикосах определены после шоковой заморозки (t= -35 °С). Сохранность сахаров при этом, в зависимости от сорта, составила 93,2–96,0; титруемых кислот – 91,4–95,2; пектинов – 93,8–96,1; фенолов – 90,9–93,8; витаминов С и Р соответственно – 90,9–93,4 и 92,1–94,3 %.	[28]
Чеснок	Переохлаждение	-7,7 °С; -14,6 °С	Сохранялся при температуре -6 °С без замораживания ткани до одной недели	[29]
Земляника, черника, черная смородина	Переохлаждение	-20 °С	Овощи переносят низкие температуры без видимых повреждений	[30]

Антимикробные соединения

Различные органические кислоты (молочная, лимонная, L-аскорбиновая, уксусная, винная, яблочная, сорбиновая и надуксусная) находят широкое применение в пищевой промышленности, поскольку они обладают сильным противомикробным эффектом. Механизм их действия направлен на снижение рН

среды, вызывая нарушение проницаемости клеточных оболочек. Исследования показали, что некоторые из этих кислот могут индуцировать выработку защитных механизмов во фруктах и овощах [31]. Другими широко используемыми органическими соединениями являются эфирные масла, которые естественным образом синтезируются в растениях как

вторичные метаболиты, играющие фундаментальную роль в их защите. Эти соединения имеют большое значение, поскольку обладают широким спектром противомикробных свойств и могут также применяться в качестве

защитных оболочек при упаковывании в среде инертных газов [32]. В таблице 2 приведен обзор исследований, в которых показано влияние различных органических соединений в качестве противомикробных препаратов.

Таблица 2 – Обзор результатов исследований обработки растительного сырья различными противомикробными препаратами

Table 2 – Review of the results of studies on the treatment of plant raw materials with various antimicrobial drugs

Продукт	Вид обработки	Способ обработки	Эффект	Ссылка
Салат, шпинат	Использование органической кислоты	0,5 % фумаровая кислота	Снижение роста <i>E. coli</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>Salmonella</i>	[33]
Авокадо, арбуз, грибы	Использование органической кислоты	2 % яблочная кислота	Снижение роста <i>L. innocua</i> и <i>E. coli</i>	[34]
Салат	Использование эфирных масел	Наноземulsion масла орегано 0,1%	Снижение роста <i>L. monocytogenes</i> , <i>S. Typhimurium</i> и <i>E. coli</i> O157:H7	[35]
Яблоки	Использование эфирных масел	Покрывание оболочкой с добавлением 0,1 % наноземulsion лимонграсса	Снижение роста <i>E. coli</i>	[36]
Шампиньоны	Использование эфирных масел	Эфирное масло гвоздики, тимьяна и корицы	Замедление потемнения во время хранения	[37]

2. Современные технологии сохранения фруктов и овощей

Современные перспективные технологии нашли применение в пищевой промышленности и многих других смежных отраслях. Их существует достаточно много, но не все из них можно использовать для одних и тех же целей, поскольку не все продукты имеют одинаковые характеристики. Помимо этого существуют некоторые социально-политические и экономические факторы, не позволяющие их использовать. Некоторые из новых технологий, наиболее исследованные и используемые во всем мире, включают высокое гидростатическое давление, электромагнитные импульсы, омический нагрев, холодную плазму, ультрафиолетовое облучение, озонирование, пищевые пленки и активную упаковку. Хотя многие из этих технологий не новы, их использование в пищевой промышленности для обработки фруктов и овощей является объектом исследований в различных странах мира [38].

Высокое гидростатическое давление

Обработка высоким гидростатическим давлением (ННР), также называемое паскализацией или пастеризацией высоким давлением, представляет собой процедуру, которая позволяет ингибировать микробную активность с помощью минимальной термической обработки. При этом сохраняются пище-

вые свойства продукта, хотя, по некоторым данным, могут происходить некоторые изменения вкуса и цвета [39]. Эту процедуру осуществляют в специальном оборудовании с использованием различных жидкостей (наиболее широко применяется вода), которые находятся под давлением в течение определенного времени и при определенной температуре, воздействуя на пищевые продукты. Высокое давление может быть создано тремя различными методами: прямым сжатием, непрямым сжатием и нагреванием среды под давлением.

Обычно используется давление в диапазоне 100–700 МПа, которое подразделяется: 1) на высокое давление пастеризации, при котором используется давление от 300 до 600 МПа в течение 1–15 минут при температуре от 70 °С до 90 °С; 2) на высокое давление стерилизации, возникающее при давлении от 450 до 700 МПа и температуре от 110 до 120 °С в течение от 1 до 10 минут [40]. Другой вид гидростатического давления – мягкий ННР. Установлено, что при давлении от 20 до 80 МПа в течение 10 минут снижается ферментативная активность, а также в большинстве случаев увеличивается содержание биоактивных веществ (витамина С, общих фенольных соединений, флавоноидов и каротиноидов) и повышается антиоксидантная активность манго [41].

В результате исследований установлено, что давление в диапазоне 300–600 МПа позво-

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА ХРАНЕНИЯ ФРУКТОВ И ОВОЩЕЙ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

ляет эффективно предотвращать рост микроорганизмов и сохранять качество пищевых продуктов [1]. Другие исследования показали, что эти методы не столь агрессивно влияют на целостность продуктов. Rux [et al.] [42] подвергали воздействию различного давления (100, 150 и 200 МПа), с разным временем выдержки (5 и 10 минут) и при разной температуре (20, 30 и

40 °С) редис, получая в конечном результате небольшую потерю твердости плода и незначительные изменения состава. Что касается изменения цвета кожуры, то оно может быть частично обратимым. Этот метод также был опробован на других овощах в различных условиях (таблица 3), таких как свекла [43], морковь [44–45], картофель [46], тыква [47] и зрелые томаты [48].

Таблица 3 – Влияние обработки высоким гидростатическим давлением на овощи

Table 3 – Effect of high hydrostatic pressure treatment on vegetables

Наименование сырья	Параметры обработки	Эффективность	Источник
Морковь	60 МПа (25 с) и 100 МПа (15 с)	Увеличение содержания 5-О-кофеилхиновой кислоты и 3,4-ди-О-ферулоилхиновой кислоты	[45]
Картофель	200 МПа / 5 мин	В пектине кожуры обнаружено более высокое содержание галактуроновой кислоты, а также меньшая степень этерификации.	[46]
Тыква	550 МПа / 10 мин	Сохранение исходного цвета, повышение общего содержания фенолов	[47]
Томаты	350, 450, 550 МПа / 120 с	Снижение количества <i>Salmonella enterica</i> на 1,41 100 log UFC г-1, 2,25 log UFC г-1 и 3,35 log UFC г-1 в зависимости от условий	[48]

Импульсное электромагнитное поле

Электромагнитные импульсы – это нетермическая технология, предполагающая применение коротких импульсов магнитных полей высокой напряженности длительностью от микро- до миллисекунд. Электромагнитные импульсы используются для инактивации микроорганизмов и активных ферментов фруктов и овощей, а также в качестве метода пастеризации, позволяющего максимально сохранять физико-химические показатели растительного сырья [49]. Электромагнитные импульсы могут быть высокой, средней и низкой интенсивности. Импульсы высокой интенсивности (15–40 кВ/см, 40–1000 кДж/кг) позволяют подавлять микробную активность, а импульсы умеренной (0,5–5 кВ/см, 1–20 кДж/кг) и низкой интенсивности (0,1–3 кВ/см, 0,5–5 кДж/кг) могут стимулировать выработку вторичных метаболитов за счет увеличения проницаемости мембран в растительных клетках [50]. Сообщалось, что использование электромагнитных импульсов низкой интенсивности (580 Дж/кг) способствовало увеличению содержания фенольных соединений в моркови (80,2 %), а также органических кислот ввиду происходящих процессов, вызываемых контролируемой электропорацией [51].

Импульсные технологии успешно применяются для снижения микробиологической обсемененности яблок, черники, винограда, апельсинов, клубники, моркови, салата, шпината и томатов. Под действием импульсов происходит ингибирование роста многих гри-

бов и бактерий [52]. Электромагнитные импульсы 0,5, 1,0 и 1,5 кВ/см вызывали замедление реакции Майяра при обработке корней лотоса (*Nelumbonucifera*) [53]. Недавно данная технология была использована для предуборочной обработки растений с целью улучшения свойств урожая (например, капуста (*Brassicaoleracea*) и шпинат (*Spinaciaoleracea*), у которых были обработаны семена и саженцы, в результате чего гораздо лучше сохранялся цвет продукта во время послеуборочного хранения [54]. Кроме того, этот метод может быть использован совместно с другими способами обработки, с целью увеличения его эффективности. Примером этого является использование электромагнитных импульсов совместно с вакуумным упаковыванием, уменьшающее изменение цвета овощей [55]. Сообщалось также, что сочетание импульсной технологии с холодной плазмой предохраняет абрикосы от повреждений при транспортировке, а также подавляет рост бактерий на поверхности плодов [56, 57].

Омический нагрев

Омический нагрев, также называемый теплом Джоуля, теплом электрического сопротивления, электронагревом или электропроводящим теплом, представляет собой процесс нагревания продуктов с помощью электрического тока, проходящего через них. Омический нагрев имеет преимущества по сравнению с традиционной стерилизацией,

среди которых максимальное сохранение пищевой ценности за счет уменьшения потерь витаминов, а также лучшее сохранение органолептических показателей. Данный метод экологически безопасен, имеет низкую себестоимость и значительную экономическую эффективность, поскольку не требует сложного оборудования. В пищевой промышленности омический нагрев используется для стерилизации, санитарной обработки, пастеризации, экстракции соединений и сушки пищевых продуктов [58].

Основной целью данного метода для фруктов и овощей является инактивация ферментов, вызывающих окисление и размягчение плодов. Из-за особенностей технологии большая эффективность наблюдается для жидких продуктов (соков). Было установлено, что применение этой технологии инактивирует некоторые ферменты, ответственные за послеуборочную порчу. Так, например, использование электрического поля напряженностью 50–90 В/см при температуре 70–95 °С сокращает время инактивации фермента полифенолоксидазы в яблоках [59], а доза 5–10,5 В/см при 70 °С инактивирует пектинэстеразу, ответственную за размягчение томатов [60]. Также продемонстрирована эффективность омического нагрева как метода бланширования для снижения активности полифенолоксидазы в шампиньонах (*Agaricus bisporus*), обработанных при различных температурах (67–90 °С) в течение 1–5 мин [61]. В других исследованиях этот метод использовался в качестве предварительной обработки для размягчения свеклы и моркови с использованием напряжения в диапазоне 280–350 В и частоты 50 Гц, что позволило получить более мягкую консистенцию для этих овощей и облегчить приготовление соков и пюре [62–64].

Холодная плазма

Плазма является одним из четырех агрегатных состояний вещества и считается ионизированным газом, поскольку она состоит из энергетически активных частиц, таких как фотоны, свободных радикалов, положительных и отрицательных ионов [65], генерируемых с помощью специального оборудования. В зависимости от способа получения холодной плазмы ее можно разделить на тепловую или горячую плазму, где электроны и ионы термически сбалансированы, и нетепловую или холодную плазму, в которой температура ионов значительно выше, чем у электронов [66]. Холодная плазма является весьма перспективной технологией для пищевой промышленности, поскольку способна подавлять микробную активность посредством

следующих механизмов: а) ультрафиолетового облучения клеточной ДНК; б) ультрафиолетового облучения клеточной мембраны и внутриклеточных компонентов; в) химического взаимодействия с заряженными частицами и активными формами кислорода и азота [67]. Ингибирование микробной активности было продемонстрировано во многих научных исследованиях. Lee [et al.] [68] провели обработку холодной плазмой свежих овощей и сухофруктов с использованием микроволнового излучения. При обработке СВ мощностью 900 Вт в течение 10 мин с использованием азота в качестве плазмообразующего газа была инактивирована *Salmonella Typhimurium*, инокулированная на капусте и салате, примерно на 1,5 log КОЕ/г, а при мощности 400–900 Вт и давлении 667 Па в течение 1–10 мин с использованием газовой смеси гелия и кислорода инактивировали *Listeria monocytogenes* на капусте на 0,3–2,1 log КОЕ/г в зависимости от времени воздействия. Аналогично в исследовании Giannoglou [et al.] [69] установлено снижение микробной нагрузки на 0,57–1,02 log КОЕ г⁻¹ в салатах из шпината, намеренно загрязненных и обработанных струйным ионизированным газом.

Диэлектрические барьеры с холодной плазмой использовались для оценки снижения количества *E. coli*, инокулированной в салате ромэн, так при воздействии напряжения 42,6 кВ в течение 10 минут удалось снизить микробную нагрузку в диапазоне 0,4–0,8 log КОЕ/г. Применение холодной атмосферной плазмы на моркови при различных напряжениях 60, 80 и 100 кВ приводило к снижению количества патогенных микроорганизмов, присутствующих в растительных продуктах [70]. Атмосферная плазма применялась в качестве предварительной обработки перца чили (*Capsicum annuum* L.) с целью улучшения внешнего вида и цвета [71], а также перед замораживанием черешни [72]. В различных условиях использования для широкого спектра фруктов и овощей (яблоки, клубника, дыня, манго и др.), помимо атмосферного воздуха, фильтрованного воздуха и сухого воздуха, используются аргон, гелий, азот и их комбинации. Результаты данных исследований также показывают значительное снижение микробиологической обсемененности [73].

Еще одним преимуществом использования этого метода является разложение ряда пестицидов и аллергенов в пищевых продуктах. Было установлено, что использование напряжения в диапазоне 10–13 В может значительно снизить концентрацию пестицидов в яблоках и огурцах [74]. Образование активных форм кислорода и азота в результате этого процесса приводит к распаду паратион-метила, параоксона, ометата, дихлофоса, малатиона, азоксистробина, ципродинила, флудиоксонила, циперметрина и

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА ХРАНЕНИЯ ФРУКТОВ И ОВОЩЕЙ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

некоторых пищевых аллергенов, таких как тропомиозин, б-конглицинин, трипсин [75].

Ультрафиолетовое излучение

Ультрафиолетовое излучение (УФ) представляет собой электромагнитные волны, которые находятся между рентгеновскими лучами с длиной волны 200 нм, и види-

мым светом, имеющим длину волны, начиная с 400 нм. Обычно УФ подразделяют на три группы: УФ-А, или длинноволновое (315–400 нм), УФ-В, или средневолновое (280–315 нм), УФ-С, или коротковолновое (200–280 нм) (рис. 1).



Рисунок 1 – Подобласти УФ-спектра, необходимые для технологического использования и фоторецепции растений [76]

Figure 1 – Subdomains of the UV spectrum required for technological use and photoreception of plants [76]

УФ-С используется в пищевой промышленности в качестве метода стерилизации, поскольку она обладает бактерицидным эффектом широкого спектра действия. Эта технология имеет хорошую рентабельность, поскольку не требуется слишком сложного оборудования [77]. Применение УФ-энергии для обработки фруктов и овощей вызывает нагрузку на их ткани, что может стимулировать биосинтез вторичных метаболитов с противомикробной и антиоксидантной активностью, которые являются необходимыми соединениями, поскольку способствуют увеличению срока их хранения и сохранению пищевой ценности [78].

Данная технология широко исследовалась для проверки ее эффективности по сравнению с другими методами. Pataro [et al.] [78] показали, что использование УФ-излучения дает лучшие результаты, чем использование импульсной технологии для томатов, поскольку воздействие УФ-излучения способствует увеличению содержания фенолов, ликопина и антиоксидантов. В других исследованиях анализировалось дезинфицирующее действие коротковолновых УФ-лучей на томаты, салат и морковь (излучение с длиной волны 237 нм), где удалось снизить рост *Escherichiacoli* до 2,7 log КОЕ [79–80]. Таким же образом оценивали снижение количества *E. coli*, инокулированной в томатный, морковный, имбирный и лимонный сок. При этом использовалось излучение 280 и 360 нм. Результатом этого исследования было значительное снижение количества *E. coli* с 5,69 log КОЕ/мл до 2,59 log КОЕ/мл [81]. Также оценивалось влияние УФ-излучения на со-

держание фенолов в некоторых культурах, таких как томаты, кукуруза, картофель. При этом в томатах наблюдалось увеличение содержания данных соединений [82]. Использование УФ-С-облучения также сочетается с другими способами борьбы с грибами, вызывающими порчу пищевых продуктов. Его эффективность была продемонстрирована в сочетании со съедобными хитозановыми оболочками, обогащенными эфирными маслами, для борьбы с *Colletotrichumgloeosporioides* и *Rhizopusstolonifer*, инокулированными в папайю «Марадол» [83]. Эти и другие эффективные комбинации можно также применить к другим фруктам и овощам для проведения исследования и дальнейшему промышленному использованию.

Озон

Озон – это газ, который в небольшом количестве содержится в земной атмосфере. Он используется в пищевой промышленности в качестве окислителя и мощного дезинфицирующего вещества, действующего на бактерии, грибы и их споры, вирусы. Озон образуется при воздействии высоковольтного электрического разряда на газообразный кислород. При этом кислород расщепляется на свободные радикалы, которые самопроизвольно соединяются с молекулярным кислородом с образованием молекул озона. Озон способен уничтожать микроорганизмы посредством окисления их жизненно важных клеточных компонентов, включая белки клеточной стенки и пептидогликаны, нуклеиновые кислоты цитоплазмы [67]. Было высказано предположение, что инактивация микроор-

ганизмов озоном может происходить по двум основным механизмам. Первый включает окисление сульфгидрильных групп и аминокислот ферментов, пептидов и белков с образованием более мелких пептидов, тогда как второй механизм включает окисление полиненасыщенных жирных кислот до пероксикислот. Подтверждено, что инактивация микроорганизмов происходит из-за повреждения клеточной оболочки или ее распада, что приводит к последующей утечке клеточного содержимого и лизису клеток [84]. Важность использования озона в пищевой промышленности обусловлена не только его активностью против микроорганизмов, но и тем, что он позволяет продлить срок годности растительных продуктов. В дополнение к этому было показано, что озон может разлагать остатки пестицидов во фруктах и овощах, которые представляют высокий риск для здоровья человека [85]. Другие механизмы действия озона включают его способность вызывать стресс в тканях, что приводит к снижению активности некоторых ферментов (АСС-синтазы, АСС-оксидазы, деструкторов клеточной стенки), уменьшению концентрации эндогенного этилена, а также увеличению концентрации фенольных соединений, в частности, флавоноидов, антиоксидантных соединений, антоцианов и аскорбиновой кислоты.

Применение электролизованной воды вместе с озоном позволило значительно снизить микробную нагрузку в семенах люцерны [86]. Использование ультразвука совместно с озонированной водой показало увеличение антимикробной активности такой обработки, что значительно снизило микробную нагрузку на томаты [87]. Действие газообразного озона, как дезинфицирующего средства, было исследовано для помидоров, салата, моркови и шпината, в результате чего удалось снизить активность *E. coli* [80]. Доказано, что применение до 5 мг/л газообразного озона не ухудшает качество моркови, поскольку не влияет ни на pH, ни на цвет, ни на консистенцию [4]. Анализ результатов последних научных публикаций применения озонной технологии как метода консервирования пищевых продуктов, механизм, а также характеристика структурных изменений, происходящих в продуктах питания в процессе обработки, достаточно подробно представлены в монографии Бурака Л.Ч. [88].

Съедобные покрытия

Съедобные покрытия представляют собой тонкую пленку, нанесенную на поверхность фруктов или овощей, которую можно считать их составной частью, поскольку ее

можно употреблять в пищу. Съедобные оболочки служат дополнительной защитой для фруктов и овощей, поскольку помогают защитить их от внешних условий, в которых они хранятся, предотвратить потерю воды, старение, уменьшить вероятность возникновения порчи, а также могут быть дополнены добавками, которые способствуют повышению пищевой ценности. Они производятся на основе продуктов растительного и животного происхождения, что делает их одним из наиболее благоприятных для окружающей среды методов, поскольку они не выделяют загрязняющих веществ. В зависимости от состава покрытия обычно классифицируются на покрытия из липидов, белков и из полисахаридов [89].

Покрытия на липидной основе

В качестве липидных покрытий наиболее часто используются парафин и пчелиный воск из-за их низкой полярности и гидрофобных свойств. Эти покрытия очень эффективны в блокировании различных накапливающихся газов, которые могут повлиять на ткани, способствуя потере воды. Данные покрытия обычно наносят толстым слоем, кроме того, они хрупкие [90]. Для изготовления ряда покрытий использовались парафин или пальмовое масло [91], а в другом исследовании для продления срока хранения баклажанов и клубники применяли канделильский воск [92–93]. Комбинация пчелиного воска с добавлением кокосового масла также использовалась в качестве противомикробного барьера в лимонах и клубнике [94].

Покрытия на белковой основе

Белковые покрытия изготавливаются из белков животного происхождения (коллаген, желатин, казеин, яичный альбумин и др.) и растительных белков, полученных из соевых бобов, кукурузы, семян хлопчатника, арахиса и пшеницы. Как и покрытия на основе липидов, они действуют как эффективный барьер против газов, кроме того, они предотвращают потерю воды, поскольку являются гидрофильными веществами [95]. Примером таких покрытий является сочетание пюре папайи, желатина и соевого белка [96]. Съедобные пленки, изготовленные из белков животного происхождения, таких как белковый изолят из муки белого горбыля (*Micropogonias Furnier*), наносились на папайю [97]. В других исследованиях сообщается, что сыворотка [95], арахисовая мука [98] и соевая мука также используются для изготовления покрытий [99]. Результаты исследований показывают, что применение покрытий хорошо сказывается на уменьшении потери веса, препятствует окислению, а также помогает сохранению полифенольных соединений в яблоках [99]. Также польза этих покрытий существенна для со-

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА ХРАНЕНИЯ ФРУКТОВ И ОВОЩЕЙ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

хранения лимонена и подавления развития *Penicillium italicum* в плодах персидского лайма.

Покрытия на основе полисахаридов

Покрытия на основе полисахаридов в основном состоят из крахмала, декстрина, пектина, целлюлозы, хитозана, альгината, а также камедей [100]. Использование ксантановой камеди для изготовления покрытий на корнях лотоса показало, что она является хорошей защитой против роста *Bacillus subtilis*. Еще одним полисахаридом, регулярно используемым для покрытий, является хитозан, который наносится на различные фрукты и овощи, такие как папайя, перец и т. д. [101–103]. В других исследованиях использовали комбинацию алоэ вера и альгината для продления срока хранения томатов [104] или алоэ вера, хитозан и эфирные масла для продления срока хранения папайи Марадол [105]. Целлюлоза, экстрагированная из кактуса *Opuntia dillenii*, успешно применяется в качестве защитного покрытия картофеля [106].

Ультразвук

Ультразвук, как технология нетермической обработки пищевых продуктов, применяется в пищевой промышленности для следующих целей: сохранение пищевых продуктов, улучшение массообмена, изменение текстуры и анализ пищевых продуктов. Ультразвук может применяться в комбинации с термической обработкой. Преимуществом ультразвука по сравнению с другими методами является сокращение времени обработки, энергопотребления, сохранение целостности пищевых продуктов и т. д. Ультразвук – это звуковые волны, частота которых превышает слышимую частоту. По интенсивности и частоте ультразвуковые волны можно разделить на ультразвук низкой интенсивности (20–100 кГц) и высокой интенсивности (100 кГц–1 ГГц) [107]. Используемые звуковые волны генерируются с помощью преобразователей электрической энергии в акустическую. Существует два типа преобразователей: магнитострикционные преобразователи, состоящие из вибрирующих объектов и магнитных катушек, преобразующих электричество в вибрации, и пьезоэлектрические преобразователи, изготовленные из вибрирующих частей и пьезоэлектрических кристаллов, также преобразующие электрическую энергию в вибрации [108]. Пьезоэлектрические преобразователи используются более широко, поскольку они более эффективны для преобразования энергии. Кроме того, пьезоэлектрические преобразователи имеют более простую конструкцию по сравнению с магнитострикционными. Энергия, производимая преобразователями, подается непосредственно на продукты через сонотрод или косвенно с помощью ультразвуковых водяных бань, в которые они помещаются [109]. Ультразвуковой метод приобрел популярность, поскольку позволяет максимально сохранить продукты питания неизменными, подавляя рост микроорганизмов и останавливая ферментативную активность. Это объясняется физико-химическими и кавитационными эффектами, при которых образование, рост и коллапс микропузырьков в растворе происходит в результате колебаний давления, вызванных приложенным ультразвуковым полем, вызывающим высокие температуры и локальное давление, которые приводят к разрыву и образованию пор в клеточных мембранах [110]. Использование ультразвука с частотой 26 кГц и мощностью 200 Вт для обработки салата ромэн показало снижение *S. Enterica* в диапазоне 1,68–2,23 log КОЕ/см² [111]. Аналогичным образом под действием ультразвука в ростках люцерны и маша (зеленой сои) снижается количество *S. enteritidis* на 1,40 и 1,89 log КОЕ/г, а *E. coli* на 1,06 и 1,23 log КОЕ/г соответственно [112]. Замораживание с использованием ультразвука в качестве способа предварительной обработки при акустической интенсивности в диапазоне 0,250–0,412 Вт/см² уменьшило время замораживания брокколи и потерю содержания кальция, связанного с клеточной стенкой. По сравнению с обычным замораживанием текстурные свойства, цвет, содержание L-аскорбиновой кислоты сохранялись лучше, а потери влаги были значительно минимизированы [113]. Также было установлено, что при замораживании корней лотоса с использованием ультразвука сохранились целостность тканей и питательные вещества [114]. Совместное использование ультразвука (мощность 300 Вт и частота 40 Гц) с диоксидом хлора (50 ppm) для обработки шпината позволило снизить уровень нитритов, не влияя при этом на содержание хлорофилла в листьях [115]. Chiozzietal. [116] сообщают, что ультразвуковая обработка может способствовать удалению пестицидов из растительных продуктов. Было продемонстрировано, что 5-минутная обработка ультразвуком клубники может уменьшить остатки 16 пестицидов на 91,2 %. Аналогичным образом использование ультразвука с частотами 20, 40 и 60 кГц в течение 8 минут для обработки поверхностей салата способствует удалению 92,31 % абамектина b1, 89,36 % альфаметрина и 95,25 % бензоатаэмамектина без каких-либо изменений пищевой ценности салата.

Упаковочные системы

Системы упаковки используются для защиты продуктов питания от различных биологиче-

ских факторов и факторов окружающей среды, и их использование гарантирует оптимальное качество продуктов питания для потребителя. Хотя первые упоминания об упаковывании пищевых продуктов датируются 3500 г. до н. э. в древнеегипетских источниках, только в 18 веке были заложены основы современной упаковки. В настоящее время для сохранения продуктов питания разработаны и применяются эффективные варианты этих технологий [117].

Вакуумная упаковка

Вакуумная упаковка сегодня является очень распространенной упаковочной системой, в которой из упаковки, содержащей пищевые продукты, удаляется воздух перед ее герметизацией. Данная технология упаковки способствует снижению роста аэробных микроорганизмов и предотвращает реакции окисления [118]. Растительные продукты, такие как папайя, маш и перец чили, были упакованы по этой технологии, что продлило срок их хранения при охлаждении [119–121]. Кроме того, технологию вакуумной упаковки использовали в сочетании с другими способами, такими как покрытие альгинатными пленками [122], обработка этанолом и другими веществами [123], с целью увеличения срока годности [122], либо для улучшения органолептических показателей [123].

Упаковка в модифицированной атмосфере (МАР)

Упаковка в модифицированной атмосфере (МАР) представляет собой упаковочную технологию, способствующую продлению срока хранения пищевых продуктов за счет замены воздуха газовой смесью. Этот тип упаковки характеризуется изменением концентрации газов и паров воды внутри упаковки для достижения желаемой атмосферы, во избежание как естественного ухудшения качества пищевых продуктов, так и микробного загрязнения [124]. Упаковка в модифицированной атмосфере может использоваться вместе с другими методами, такими как обработка холодной плазмой через диэлектрические барьеры. Комбинированный способ обработки томатов использовался для подавления роста *Salmonella* [125]. Использование упаковки в модифицированной атмосфере и активной упаковки с использованием высоких концентраций кислорода позволило сохранить органолептические характеристики съедобных грибов *Pleurotus ostreatus* в течение 11 дней [126]. Также удалось увеличить срок хранения шпината на 9 дней, сохранив при этом концентрацию флавоноидов и антиоксидантов [127]. Съедобные покрытия также позволяют создавать модифицированную микроатмосферу вокруг фруктов, что достигается за счет их использования для изме-

нения скорости переноса газа и воды. Это было продемонстрировано на различных фруктах и овощах [91–94, 96–98, 102–106]. Защитный эффект можно усилить, если в дополнение к использованию покрытий фрукты поместить в контейнеры, где атмосфера модифицирована [128]. Для огурцов аргон использовался как средство модификации атмосферы, увеличивающее срок хранения до 11 дней, снижающее дыхательную активность тканей, предотвращающее физиологические изменения и деградацию хлорофилла [129].

Активная упаковка

Система активной упаковки – это передовая технология, в которой активные компоненты (например, антиоксиданты) внедряются в полимерную матрицу упаковки. Активная упаковка создает барьер, обеспечивающий качество и безопасность пищевых продуктов, кроме того, происходит взаимодействие между пищевым продуктом и упаковкой. Существует несколько систем, с помощью которых можно производить активную упаковку. Они предназначены для предотвращения процессов порчи пищевых продуктов за счет включения активных ингредиентов, которые могут действовать как поглотители кислорода, углекислого газа, этилена, влаги, а также противомикробные агенты, антиоксиданты, консерванты и т. д. [130]. Проведено исследование по использованию хлопка с полиакрилатом натрия для поглощения газов внутри упаковки с целью продления срока годности авокадо [131]. Следует также отметить исследование по оценке использования покрытий на основе хитозана с добавлением лимонной кислоты и глицерина на зеленом перце чили, позволяющих добиться большей устойчивости к влажности окружающей среды и улучшения термических и антиоксидантных свойств, а также увеличения срока хранения. Активная упаковка, созданная из поливинилового спирта, смешанного с итаконовой кислотой и хитозаном с добавлением дополнительных веществ, полученных из томатов, продемонстрировала способность продлевать срок хранения пищевых продуктов, создавая барьер против температурных факторов, а также выступая в качестве физического барьера. Кроме того, эта упаковка способна оказывать значительную антиоксидантную активность [132–133]. Для мяса были разработаны пленки с добавлением различных экстрактов красной капусты и сладкой сыворотки, которые действуют как физические и противомикробные барьеры, позволяя продлить срок хранения мяса за счет антиокси-

дантов, содержащихся в этих съедобных пленках [134].

«Умная упаковка»

«Умная упаковка» – это новая концепция биоразлагаемых упаковочных систем, которая предполагает использование как интеллектуальных, так и активных веществ для контроля и поддержания / улучшения качества упакованного продукта [135]. Функция этих упаковок выходит за рамки простой защиты и сохранения продуктов питания. «Умные» упаковки отвечают за проведение неинвазивного анализа между продуктом, упаковкой и окружающей средой. Это осуществляется с помощью датчиков, встроенных в упаковку. Существует два способа сбора этой информации с упаковки: с помощью биосенсоров в виде этикеток, которые взаимодействуют с пищевыми продуктами и окружающей средой, либо сбором информации с пищевых продуктов с помощью пластин, встроенных в упаковку, которые собирают информацию и могут передавать ее в виде радиосигналов на специализированное оборудование [136]. Многие исследования направлены на обеспечение свойств цветных этикеток на упаковках, которые могут менять цвет в ответ на изменение физико-химических свойств пищевых продуктов. На упаковку манго нанесены этикетки, которые меняют цвет, когда продукт становится непригодным для употребления в пищу [137]. Изменения pH пищевых продуктов также можно обнаружить по этикеткам активно-интеллектуальной упаковки, которые, с другой стороны, должны быть биоразлагаемыми [136, 138]. Установлено, что интеллектуальные упаковочные системы применяются для мониторинга в режиме реального времени фруктов и овощей, мясных и молочных продуктов в цепочке поставок, посредством взаимодействия между небольшими компонентами внутри упаковки, такими как колориметрические индикаторные этикетки, датчики и целевые ответчики для предоставления информации о качестве продукта и параметрах окружающей среды [139]. Были разработаны этикетки, цвет которых меняется с оранжевого на желтый при накоплении высокого уровня CO₂ [140]. Другой способ, более благоприятный для окружающей среды, заключается в добавлении в упаковку натуральных красителей, которые точно так же, как этикетки, меняют цвет в зависимости от изменений, происходящих в пищевых продуктах [141]. Анализ результатов научных исследований показал, что интеллектуальная упаковка может использоваться для раз-

личных фруктов и овощей, включая киви, дыню, драконий фрукт, гуаву, виноград, личи, манго, финики, перец, грибы и другое плодовоовощное сырье [142–148].

3. Проблемы и перспективы внедрения новых технологий

Следует отметить, что некоторые из новых технологий находятся в процессе исследования и разработки, о чем свидетельствует большое количество опубликованных работ. Однако, несмотря на то, что многие из них разрабатывались в течение нескольких лет, все еще существуют проблемы их широкого промышленного внедрения ввиду необходимости применения мер предосторожности или, в некоторых отдельных случаях, их нежелательного воздействия на продукты питания. Эффективность высокого гидростатического давления (как и большинства технологий) в качестве способов снижения микробиологической обсемененности овощей и фруктов зависит от таких факторов, как время, давление, используемая температура, вид растительного сырья, для которых оно применяется, и типы микроорганизмов. Кроме того, такая обработка может вызвать изменение консистенции и цвета продуктов, как это произошло с редисом, где было установлено снижение эластичности [42]. Также результат исследований показал, что НРР может вызывать необратимые изменения в некоторых растительных соединениях, такие как желатинизация крахмала и денатурация белка [67]. Отмечено также снижение концентрации витамина С на 20 % в процессе обработки высоким гидростатическим давлением (75–125 МПа) с целью гомогенизации сока шиповника [150].

Ультразвук может широко использоваться в пищевой промышленности, если его потенциал для разработки новых продуктов будет полностью раскрыт. Хотя использование мощного ультразвука в пищевой промышленности находит широкое применение, по-прежнему существует потребность в получении более систематических данных о реакциях микроорганизмов, пищевых ферментов и пищевых компонентов (белков, углеводов, липидов, питательных веществ и др.) при обработке ультразвуком. Кроме того, механизмы и кинетика инактивации микробов и ферментов все еще остаются неизученными. Необходимо изучить факторы, влияющие на интенсивность кавитации, и методы, необходимые для количественной оценки кавитационной активности. Следует уделять больше внимания разработке систем ультразвуковой обработки пищевых продуктов, чтобы получать больше данных о

влиянии ультразвука на качество пищевых продуктов. Несмотря на то, что ультразвуковая технология имеет большие перспективы, ее необходимо тщательно разрабатывать и масштабировать для каждого отдельного применения в пищевой промышленности. С целью ускорения внедрения ультразвуковой технологии обработки дальнейшие исследования необходимо проводить в условиях промышленного производства, что позволит оптимизировать режимы обработки и расширить области применения в условиях промышленного производства. А на сегодняшний день, к сожалению, применение ультразвуковой технологии для повышения микробной безопасности овощей и фруктов в условиях промышленного производства остается нерешенной задачей.

Несмотря на все преимущества, авторы исследований высказали ряд опасений по поводу промышленного применения метода ОН, включая коррозию электродов и ее потенциальное негативное влияние на здоровье потребителей, высокие капиталовложения, безопасность обслуживающего персонала и неравномерный нагрев некоторых материалов в непрерывном режиме процесса. Эффективность омического нагрева ограничивается такими факторами, как скорость выделения тепла в системе, электропроводность продуктов питания, напряженность электрического поля, способ прохождения продуктов через систему и время обработки [151].

Эффект электромагнитных импульсов зависит от напряженности электрических полей и продолжительности воздействия [152]. В зависимости от продукта также может наблюдаться снижение упругости клеточной стенки фруктов и овощей. Такие явления наблюдались в яблоках, грушах, картофеле и редисе [153–154].

Холодная плазма может повредить плодовоовощное сырье, поскольку требуется много энергии, которая может генерировать тепло, отрицательно влияющее на ткани. Также сообщалось, что холодная плазма, генерируемая насыщенным кислородом газом, может способствовать окислению продуктов с высоким содержанием жиров, поскольку во время этого процесса могут образовываться свободные радикалы кислорода [155]. Степень влияния на характеристики пищевых продуктов тесно связана с такими факторами, как время воздействия, тип газа-носителя, входное напряжение и состав овощей и фруктов. Поэтому в ходе применения необходимо максимально оптимизировать параметры процесса, чтобы избежать неблагоприятного воздействия ХП на пищевую ценность растительного сырья, ускоренное окисление липидов, ухудшение органолептиче-

ских свойств, потерю витаминов, углеводов и некоторых полезных белков.

Использование озона при послеуборочной обработке, хранении или переработке плодовоовощного сырья может привести к нежелательным изменениям качества продукции из-за его высокой окислительной способности. Отмечается, что использование высоких концентраций озона может вызвать окисление соединений, входящих в состав растительных продуктов, вызывая изменение цвета, вкуса, аромата и консистенции, а также фитохимическую деградацию [87]. Изменение цвета винограда, обработанного озоном в модифицированной атмосфере в концентрациях 10 и 20 мкл/л, по-видимому, является реакцией на накопление CO_2 , которому способствует озон [156]. Таким образом, необходимая концентрация озона зависит от вида растительного сырья. Так как озон имеет высокий окислительно-восстановительный потенциал ($-2,07 \text{ В}$), то ввиду его сильных коррозионных свойств оборудование, изготовленное из металла, не может использоваться в системах фумигации озоном. Использование озона на предприятиях пищевой промышленности увеличивает вероятность коррозии металла и попадания металлических предметов в продукты. Во время озонирования можно использовать резиновые или пластиковые контейнеры, но их необходимо часто проверять на наличие повреждений и трещин. Озоностойкие камеры и оборудование должны быть спроектированы и изготовлены с учетом конкретных целей озонирования [88].

Несмотря на достигнутые эффективные результаты и перспективы использования УФ-обработки, остаются некоторые важные ограничения, что, вероятнее всего, замедлило внедрение УФ-технологии промышленными предприятиями по приемке, хранению и переработке плодовоовощного сырья. Для овощей и фруктов основными проблемами остаются сокращение времени обработки для обеспечения их совместимости с непрерывными технологическими линиями и повышение однородности обработки для больших объемов продукции без механического повреждения. Было высказано предположение, что применение УФ-излучения плодовоовощного сырья большого размера не позволяет лучам полностью проникнуть в них. Кроме того, длительное использование излучения может вызвать изменения в растительных пигментах, таких как хлорофилл и каротиноиды [157]. Сообщается также, что УФ-С-излучение в дозе $4,35 \text{ кДж/м}^2$ для обработки клубники может

вызвать выработку потенциально аллергенного белка [158] в дополнение к уменьшению летучих соединений (фурана и мезифурана), ответственных за характерный аромат этих фруктов [159]. Решение этих проблем, вероятно, будет способствовать выходу метода УФ-облучения за рамки стадии зарождающейся технологии и становлению его перспективной промышленной технологией обработки и консервирования плодоовощной продукции и других видов сырья и продуктов питания.

С целью обеспечения микробиологической стабильности и продления срока годности фруктов и овощей в ряде случаев традиционные способы обработки были заменены на современные из-за появления более агрессивных, лучше адаптированных и устойчивых фитопатогенных микроорганизмов [160], более суровых условий окружающей среды, связанных с изменением климата, экономическими и экологическими издержками их использования и т. д. [160–163]. В связи с этим, новые технологии обработки растительного сырья должны использоваться как способ, направленный на обеспечение безопасности, а также на увеличение срока годности, качества и максимального сохранения биологически активных соединений во фруктах и овощах. Технологии, которые в полной мере обеспечивают требования экологической безопасности и с наименьшими экономическими затратами смогут использоваться для обработки фруктов и овощей, и, возможно, других пищевых продуктов. В настоящее время основное количество научных исследований, а в некоторых случаях и их промышленное внедрение, приходится на наиболее технологически и экономически развитые страны. Следует также отметить, что внедрение связано с большими финансовыми затратами, необходимостью инвестиций в оборудование, что в краткосрочной перспективе рассматривается как недостаток, но по мере проведения дополнительных исследований появится возможность минимизировать инвестиционные и эксплуатационные затраты. Еще одним ограничением использования этих технологий в настоящее время являются нормативные аспекты, поскольку в каждой стране существует законодательство относительно использования той или иной технологии. Следует также принимать во внимание, какие процессы являются наиболее подходящими и безопасными как для плодоовощного сырья, так и для работников, выполняющих операции по обработке сырья.

ВЫВОДЫ

За последние тридцать лет пищевая промышленность претерпела значительные изменения, стремясь к созданию более безопасных продуктов питания с более длительным сроком хранения, высокой пищевой ценностью и положительным влиянием на организм человека. 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 плодоовощного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Burak L.Ch. Existing methods of processing food products and their influence on nutritional value and chemical composition // *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products*. 2021. No. 3. P. 59-73. (In. Russ.). <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-3-59-73>.
2. Salami S.A., Luciano G., O'Grady M.N., Biondi L., Newbold C.J., Kerry J.P., Priolo A. Sustainability of Feeding Plant By-Products: A Review of the Implications for Ruminant Meat Production // *Anim. Feed Sci. Technol.* 2019. V. 251. p. 37-55. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2019.02.006>.
3. Mostafidi M., Sanjabi M.R., Shir Khan F., Zahedi M.T. A Review of Recent Trends in the Development of the Microbial Safety of Fruits and Vegetables // *Trends Food Sci. Technol.* 2020. V. 103. pp. 321-332. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.009>.
4. Nerin, C., Aznar, M., Carrizo, D. Food Contamination During Food Process // *Trends Food Sci. Technol.* 2016. V. 48. pp. 63-68. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.004>.
5. Han J.W., Ruiz-Garcia L., Qian J.P., Yang X.T. Food Packaging: A Comprehensive Review and Future Trends // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2018. V. 17(4). pp. 860-877. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12343>.

6. Nardella S., Conte A. Del Nobile MA. State-of-Art on the Recycling of By-Products from Fruits and Vegetables of Mediterranean Countries to Prolong Food Shelf Life // *Foods*. 2022. V. 11(5) p. 665. <https://doi.org/10.3390/foods11050665>.
7. Atuonwu J.C., Leadley C., Bosman A., Tassou S.A., Lopez-Quiroga E., Fryer P.J. Comparative Assessment of Innovative and Conventional Food Preservation Technologies: Process Energy Performance and Greenhouse Gas Emissions. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2018, 50, 174-187. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.09.008>.
8. Sayed-Ahmed K. and Shabana Y.M. Nanomaterials for Postharvest Management and Value Addition // *CABI Books*. CABI. 2023. V. 8. <https://doi.org/10.1079/9781800623095.0008>.
9. Leneveu-Jenvrin C., Charles F., Barba F.J., Remize F. Role of Biological Control Agents and Physical Treatments in Maintaining the Quality of Fresh and Minimally-Processed Fruit and Vegetables. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2020, 60(17), 2837-2855. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1664979>.
10. Liang Y., Yao, Y., Liu, Y., Li, Y., Xu, C., Fu, L. Curcumin-loaded HKUST-1@ carboxymethyl starch-based composites with moisture-responsive release properties and synergistic antibacterial effect for perishable fruits // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022. V. 214. pp. 181-191. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.06.022>.
11. Burak L.Ch., Sapach A.N., Pizarik M.I. Intelligent packaging for vegetables and fruits, classification and prospects for use: Review of the subject field // *Health, Food & Biotechnology*. 2023. V. 5. No. 1. P. 51-80. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i1.s165>.
12. López-Dávila E., Houbraken M., De Rop J. [et al.]. Pesticide traces in local crops of Sancti Spiritus, Cuba: risk assessment study // *Food Contamination*. 2021. V. 8. No. 1. <https://doi.org/10.1186/s40550-021-00081-2>.
13. Rybkin I.D., Grigorieva M.V. Conditions for the rational use of chemical plant protection products and mineral fertilizers in organic agriculture // *Agrarian Bulletin of Non-Black Earth Region*. 2022. No. 2(6). P. 22-31. (In Russ.). DOI: 10.52025/2712-8679_2022_02_22.
14. Yang R., Xu T., Fan J., Zhang Q., Ding M., Huang M., Deng L., Guo Y. Natural Products-Based Pesticides: Design, Synthesis and Pesticidal Activities of Novel Fraxinellone Derivatives Containing N-Phenylpyrazole Moiety // *Ind. Crop Prod.* 2018. V. 117. pp. 50-57. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.088>.
15. Yang R., Huang X., Che Z., Zhang Y., Xu H. Application of Sustainable Natural Resources in Crop Protection: Podophyllotoxin-Based Botanical Pesticides Derived from Podophyllum Hexandrum for Controlling Crop-Threatening Insect Pests // *Ind. Crop Prod.* 2017. V. 107. pp. 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.033>.
16. Rashwan R.S., Hammad D.M. Toxic Effect of Spirulina Platensis and Sargassum Vulgar as Natural Pesticides on Survival and Biological Characteristics of Cotton Leaf Worm Spodoptera Littoralis // *Sci. Afr.* 2020. V. 8. e00323. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00323>.
17. Pérez-Lavalle L., Carrasco E., Valero A. Strategies for Microbial Decontamination of Fresh Blueberries and Derived Products // *Foods*. 2020. V. 28; 9(11). P. 1558. <https://doi.org/10.3390/foods9111558>.
18. Özen T., Koyuncu M.A., Erbaş D. Effect of ozone treatments on the removal of pesticide residues and postharvest quality in green pepper // *J Food Sci Technol*. 2021. V. 58(6). pp. 2186-2196. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04729-3>.
19. Chen Y., Xie H., Tang J., Lin M., Hung Y.C., Lin H. Effects of Acidic Electrolyzed Water Treatment on Storability, Quality Attributes and Nutritive Properties of Longan Fruit During Storage // *Food Chem*. 2020. V. 320. p. 126641. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126641>.
20. Nyamende N.E., Domtchouang F.R., Belay Z.A., Keyser Z., Oyenihni A., Caleb O.J. Alternative postharvest pre-treatment strategies for quality and microbial safety of 'Granny Smith' apple // *Heliyon*. 2021. V. 21.7(5). e07104. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07104>.
21. Sun J., Chen H., Xie H., Li M., Chen Y., Hung Y.C., Lin H. Acidic Electrolyzed Water Treatment Retards Softening and Retains Cell Wall Polysaccharides in Pulp of Postharvest Fresh Longans and Its Possible Mechanism // *Food Chem. X*. 2022. V. 13. P. 100265. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100265>.
22. Jia L., Li Y., Liu G., He J. Acidic Electrolyzed Water Improves the Postharvest Quality of Jujube Fruit by Regulating Antioxidant Activity and Cell Wall Metabolism // *Sci. Hortic*. 2022. V. 304. p. 111253. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111253>.
23. Mahajan P.V., Caleb O.J., Singh Z., Watkins C.B., Geyer M. Postharvest Treatments of Fresh Produce // *Philos. Trans. Royal Soc. A*. 2014. V. 372(2017). 20130309. <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0309>.
24. Liu D.K., Xu C.C., Guo C.X., Zhang X.X. Sub-Zero Temperature Preservation of Fruits and Vegetables: A Review // *J. Food Eng.* 2020. V. 275. p. 109881. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109881>.
25. Yang R., Han Y., Han Z., Ackah S., Li Z., Bi Y., Yang Q., Prusky D. Hot Water Dipping Stimulated Wound Healing of Potato Tubers // *Postharvest. Biol. Technol.* 2020. V. 167. p. 111245. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111245>.
26. El Hamahmy M.A.M., El Sayed A.I., Odero D.C. Physiological Effects of Hot Water Dipping, Chitosan Coating and Gibberellic Acid on Shelf-Life and Quality Assurance of Sugar Snap Peas (*Pisum Sativum* L. Var. Macrocarpon) // *Food Packag. Shelf Life*. 2017. V. 11. pp. 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.12.002>.
27. Endo H., Miyazaki K., Ose K., Imahori Y. Hot Water Treatment to Alleviate Chilling Injury and Enhance Ascorbate-Glutathione Cycle in Sweet Pepper Fruit During Postharvest Cold Storage // *Sci. Hortic*. 2019. V. 257. p. 108715. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108715>.
28. Guseinova B.M., Asabutaev I.Kh., Daudova T.I. The influence of low-temperature canning regimes on the preservation of commercial qualities and nutrient composition of apricots, taking into account varietal characteristics and shelf life // *Storage and processing of agricultural raw materials*. 2021. No. 1. P. 14-29. (In Russ.). <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.185>.
29. James C., Seignemartin V., James S.J. The Freezing and Supercooling of Garlic (*Allium Sativum* L.) // *Intern. J. Refrig*. 2009. V. 32(2). pp. 253-260. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2008.05.012>.
30. Celli G.B., Ghanem A., Su-Ling B.M. Influence of Freezing Process and Frozen Storage on Fruits and Fruit Products Quality. *Food Rev. Int.* 2015. V. 32(3). pp. 280-304. <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1075212>.
31. Felizian E., Lichter A., Smilanick J.L., Ippolito A. Disinfecting Agents for Controlling Fruit and Vegetable Diseases After Harvest. *Postharvest // Biol. Technol.* 2016. V. 122. pp. 53-69. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.04>.
32. Maisanaba S., Llana-Ruiz-Cabello M., Gutiérrez-Praena D., Pichardo S., Puerto M., Prieto A.I., Jos A., Cameán A.M. New Advances in Active Packaging Incorporated with Essential Oils or Their Main Components for Food Preservation // *Food Rev. Int.* 2017. V. 33(5). pp. 447-515. <https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1175010>.
33. Ngnitcho P.F.K., Khan I., Tango C.N., Hussain M.S., Oh D.H. Inactivation of Bacterial Pathogens on Lettuce, Sprouts, and Spinach Using Hurdle Technology. *Innov // Food Sci.*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА ХРАНЕНИЯ ФРУКТОВ И ОВОЩЕЙ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

- Emerg. Technol. 2017. V. 43. pp. 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.07.033>.
34. Ramos-Villarreal A.Y., Martín-Belloso O., Soliva-Fortuny R. Combined Effects of Malic Acid Dip and Pulsed Light Treatments on the Inactivation of *Listeria innocua* and *Escherichia coli* on Fresh-Cut Produce // *Food Control*. 2015. V. 52. pp. 112-118. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.12.020>.
35. Bhargava K., Conti D.S., da Rocha S.R.P., Zhang Y. Application of an Oregano Oil Nanoemulsion to the Control of Foodborne Bacteria on Fresh Lettuce. *Food Microbiol.* 2015, 47, 69-73. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.11.007>.
36. Salvia-Trujillo L., Rojas-Graü M.A., Soliva-Fortuny R., Martín-Belloso O. Use of Antimicrobial Nanoemulsions as Edible Coatings: Impact on Safety and Quality Attributes of Fresh-Cut Fuji Apples. *Postharvest // Biol. Technol.* 2015. V. 105. pp. 8-16. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.03.009>.
37. Gao M., Feng L., Jiang T. Browning Inhibition and Quality Preservation of Button Mushroom (*Agaricus bisporus*) by Essential Oils Fumigation Treatment // *Food Chem.* 2014. V. 149. pp. 107-113. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.073>.
38. Morales-de la Peña M., Welti-Chanes J., Martín-Belloso O. Novel Technologies to Improve Food Safety and Quality // *Curr. Opin. Food Sci.* 2019. V. 30. pp. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.10.009>.
39. Yamamoto K. Food Processing by High Hydrostatic Pressure // *Bioscience, Biotechnol. Biochem.* 2017. V. 81(4). pp. 672-679. <https://doi.org/10.1080/09168451.2017.1281723>.
40. Daher D., Le Gourrier S., Pérez-Lamela C. Effect of High Pressure Processing on the Microbial Inactivation in Fruit Preparations and Other Vegetable Based Beverages // *Agriculture*. 2017. V. 7(9). p. 72. <https://doi.org/10.3390/agriculture7090072>.
41. Hu K., Peng D., Wang L., Liu H., Xie B., Sun Z. Effect of Mild High Hydrostatic Pressure Treatments on Physiological and Physicochemical Characteristics and Carotenoid Biosynthesis in Postharvest Mango // *Postharvest. Biol. Technol.* 2021. V. 172. p. 111381. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111381>.
42. Rux G., Gelewsky R., Schlüter O., Herppich W.B. High Hydrostatic Pressure Effects on Membrane-Related Quality Parameters of Fresh Radish Tubers // *Postharvest. Biol. Technol.* 2019. 151. pp. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.01.007>.
43. Paciulli M., Medina-Meza I.G., Chiavaro E., Barbosa-Cánovas G.V. Impact of Thermal and High-Pressure Processing on Quality Parameters of Beetroot (*Beta Vulgaris L.*) // *LWT*. 2016. V. 68. pp. 98-104. DOI: 10.1016/j.lwt.2015. 12.029.
44. Viacava F., Ortega-Hernández E., Welti-Chanes J., Cisneros-Zevallos L., Jacobo-Velázquez D.A. Using High Hydrostatic Pressure Processing Come-Up Time as an Innovative Tool to Induce the Biosynthesis of Free and Bound Phenolics in Whole Carrots // *Food Bio. process Technol.* 2020. V. 13(10). pp. 1717-1727. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02512-y>.
45. Yu G., Bei J., Zhao J., Li Q., Cheng C. Modification of Carrot (*Daucus carota* Linn. Var. *Sativa* Hoffm.) Pomace Insoluble Dietary Fiber with Complex Enzyme Method, Ultrafine Comminution, and High Hydrostatic Pressure // *Food Chem.* 2018. V. 257. pp. 333-340. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018. 03.037.
46. Xie F., Zhang W., Lan X., Gong S., Wu J., Wang Z. Effects of High Hydrostatic Pressure and High-Pressure Homogenization Processing on Characteristics of Potato Peel Waste Pectin // *Carbohydr. Polym.* 2018. V. 196. pp. 474-482. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.05.061.
47. Zhou C.L., Liu W., Zhao J., Yuan C., Song Y., Chen D., Ni Y.Y., Li Q.H. The Effect of High Hydrostatic Pressure on the Microbiological Quality and Physical-Chemical Characteristics of Pumpkin (*Cucurbita Maxima* Duch.) During Refrigerated Storage // *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2014. V. 21. pp. 24-34. DOI: 10.1016/j.ifset.2013. 11.002.
48. Maitland J.E., Boyer R.R., Eifert J.D., Williams R.C. High Hydrostatic Pressure Processing Reduces *Salmonella enterica* Serovars in Diced and Whole Tomatoes // *Int. J. Food Microbiol.* 2011. V. 149(2). pp. 113-117. DOI: 10.1016/j.jifoodmicro.2011.05.024.
49. Gürsul I., Gueven A., Grohmann A., Knorr D. Pulsed Electric Fields on Phenylalanine Ammonia Lyase Activity of Tomato Cell Culture // *J. Food Eng.* 2016. V. 188. pp. 66-76. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.05.007.
50. Jacobo-Velázquez D.A., Cuéllar-Villarreal M.R., Welti-Chanes J., Cisneros-Zevallos L., Ramos-Parra P.A., Hernández-Brenes C. Nonthermal Processing Technologies as Elicitors to Induce the Biosynthesis and Accumulation of Nutraceuticals in Plant Foods // *Trends Food Sci. Technol.* 2017. V. 60. pp. 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.021>.
51. López-Gámez G., Elez-Martínez P., Martín-Belloso O., Soliva-Fortuny R. Pulsed Electric Fields Affect Endogenous Enzyme Activities, Respiration and Biosynthesis of Phenolic Compounds in Carrots. *Postharvest. Biol. Technol.* 2020. V. 168. p. 111284. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111284>.
52. Salehi F. Application of Pulsed Light Technology for Fruits and Vegetables Disinfection: A Review // *J. Appl. Microbiol.* 2022. V. 132(4). pp. 2521-2530. DOI: 10.1111/jam.15389.
53. Li J., Shi J., Huang X., Wang T., Zou X., Li Z., Zhang D., Zhang W., Xu Y. Effects of Pulsed Electric Field Pretreatment on Frying Quality of Fresh-Cut Lotus Root Slices // *LWT*. 2020. V. 132. p. 109873. DOI: 10.1016/j.lwt.2020. 109873.
54. Katsenios N., Christopoulos M.V., Kakabouki I., Vlachakis D., Kavvadias V., Efthimiadou A. Effect of Pulsed Electromagnetic Field on Growth, Physiology and Postharvest Quality of Kale (*Brassica oleracea*), Wheat (*Triticum durum*) and Spinach (*Spinacia oleracea*) Microgreens // *Agronomy*. 2021. V. 11(7). p. 1364. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071364>.
55. Liu C., Pirozzi A., Ferrari G., Vorobiev E., Grimi N. Impact of Pulsed Electric Fields on Vacuum Drying Kinetics and Physicochemical Properties of Carrot // *Food. Res. Int.* 2020. V. 137. p. 109658. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109658.
56. Hua X., Li T., Wu C., Zhou D., Fan G., Li X., Cong K., Yan Z., Wu Z. Novel Physical Treatments (Pulsed Light and Cold Plasma) Improve the Quality of Postharvest Apricots After Long-Distance Simulated Transportation. *Postharvest // Biol. Technol.* 2022. V. 194. P. 112098. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112098>.
57. Ertugay M.F., Başlar M., Ortakci F. Effect of Pulsed Electric Field Treatment on Polyphenol Oxidase, Total Phenolic Compounds, and Microbial Growth of Apple Juice // *Turk. J. Agric. For.* 2013. V. 37. pp. 772-780. DOI: 10.3906/ tar-1211-17.
58. Gavahian M., Tiwari B.K., Chu Y.H., Ting Y., Farahnaky A. Food Texture as Affected by Ohmic Heating: Mechanisms Involved, Recent Findings, Benefits, and Limitations // *Trends Food Sci. Technol.* 2019. V. 86. pp. 328-339. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.02.022.
59. Alcántara-Zavala A.E., Figueroa-Cárdenas J.D., Morales-Sánchez E., Aldrete-Tapia J.A., Arvizu-Medrano S.M., Martínez-Flores H.E. Application of Ohmic Heating to Extend Shelf Life and Retain the Physicochemical, Microbiological and Sensory Properties of Pulque // *Food Bioprod. Process.* 2019. V. 118. pp. 139-148. DOI: 10.1016/j. fbp.2019.09.007.
60. Kaur N., Singh A.K. Ohmic Heating: Concept and Applications-A Review // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2016. V. 56 (14). pp. 2338-2351. DOI: 10.1080/10408398.2013.835303.
61. Jaeger H., Roth A., Toepfl S., Holzhaue, T. Engel K.H., Knorr D., Vogel R.F., Bandick N., Kulling S., Heinz V. [et al.]. Opinion on the Use of Ohmic Heating for the Treatment of Foods // *Trends Food Sci. Technol.* 2016. V. 55. pp. 84-97.

DOI: 10.1016/j.tifs.2016.07.007.

62. Samaranyake C.P., Sastry S.K. Effect of Moderate Electric Fields on Inactivation Kinetics of Pectin Methyltransferase in Tomatoes: The Roles of Electric Field Strength and Temperature // *J. Food Eng.* 2016. V. 186. pp. 17-26. DOI: 10.1016/j.foodeng.2016.04.006.

63. Barrón-García O.Y., Nava-Álvarez B., Gaytán-Martínez M., Gonzalez-Jasso E., Morales-Sánchez E. Ohmic Heating Blanching of *Agaricus Bisporus* Mushroom: Effects on Polyphenoloxidase Inactivation Kinetics, Color and Texture // *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2022. V. 80. p. 103105. DOI: 10.1016/j.ifset.2022.103105.

64. Farahnaky A., Azizi R., Gavahian M. Accelerated Texture Softening of Some Root Vegetables by Ohmic Heating // *J. Food Eng.* 2012. V. 113(2). pp. 275-280. DOI: 10.1016/j.foodeng.2012.05.039.

65. Farber R., Dabush-Busher I., Chaniel G., Rozenfeld S., Bormashenko E., Multanen V., Cahan R. Biofilm Grown on Wood Waste Pretreated with Cold Low-Pressure Nitrogen Plasma: Utilization for Toluene Remediation // *Int. Biodeterior. Biodegradation.* 2019. V. 139. pp. 62-69. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.03.003>.

66. Zhu Y., Li C., Cui H., Lin L. Feasibility of Cold Plasma for the Control of Biofilms in Food Industry // *Trends Food Sci. Technol.* 2020. V. 99. pp. 142-151. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.001>.

67. Deng L.Z., Mujumdar A.S., Pan Z., Vidyarthi S.K., Xu J., Zielinska M., Xiao H.W. Emerging Chemical and Physical Disinfection Technologies of Fruits and Vegetables: A Comprehensive Review // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2020. V. 60. pp. 2481-2508. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1649633>.

68. Lee H., Kim J.E., Chung M.S., Min S.C. Cold Plasma Treatment for the Microbiological Safety of Cabbage, Lettuce, and Dried Figs // *Food Microbiol.* 2015. V. 51. pp. 74-80. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2015.05.004>.

69. Giannoglou M., Stergiou P., Dimitrakellis P., Gogolides E., Stoforos N.G., Katsaros G. Effect of Cold Atmospheric Plasma Processing on Quality and Shelf-Life of Ready-To-Eat Rocket Leafy Salad // *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2020. V. 66. p. 102502. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102502>.

70. Kumar-Mahnot N., Siyu L.-P., Wan Z., Keener K.M., Misra N.N. In-Package Cold Plasma Decontamination of Fresh-Cut Carrots: Microbial and Quality Aspects // *J. Phys D: Appl Phys.* 2020. V. 53(15). P. 154002. DOI: 10.1088/1361-6463/ab6cd3.

71. Zhang X.L., Zhong C.S., Mujumdar A.S., Yang X.H., Deng L.Z., Wang J., Xiao H.W. Cold Plasma Pretreatment Enhances Drying Kinetics and Quality Attributes of Chili Pepper (*Capsicum Annuum* L.) // *J. Food Eng.* 2019. V. 241. pp. 51-57. <https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2018.08.002>.

72. Gafizov G.K.Yu., Pireeva M.A. Cold storage of cherries without freezing: yield of standard fruits and losses // *Fruit growing and viticulture of the South of Russia.* 2022. No. 77(5). pp. 243-260. (In Russ.). DOI: 10.30679/2219-5335-2022-5-77-243-260.

73. Mao L., Mhaske P., Zing X., Kasapis S., Majzoobi M., Farahnaky A. Cold Plasma: Microbial Inactivation and Effects on Quality Attributes of Fresh and Minimally Processed Fruits and Ready-To-Eat Vegetables // *Trends Food Sci. Technol.* 2021. V. 116. pp. 146-175. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.002>.

74. Mousavi S.M., Imani S., Dorrani D., Larjani K., Shojae M. Effect of Cold Plasma on Degradation of Organophosphorus Pesticides Used on Some Agricultural Products // *J. Plant Prot. Res.* 2017. V. 57(1). pp. 25-35. DOI: 10.1515/jppr-2017-0004.

75. Gavahian M., Khaneghah A.M. Cold Plasma as a Tool for the Elimination of Food Contaminants: Recent Advanc-

es and Future Trends // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2020. V. 60(9). pp. 1581-1592. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1584600>.

76. Bergman R.S. Germicidal UV Sources and Systems // *Photochem Photobiol.* 2021. V. 97(3). pp. 466-470. <https://doi.org/10.1111/php.13387>.

77. Zhang W., Jiang W. UV Treatment Improved the Quality of Postharvest Fruits and Vegetables by Inducing Resistance // *Trends Food Sci. Technol.* 2019. V. 92. pp. 71-80. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.012>.

78. Pataro G., Donsi G., Ferrari G. Post-Harvest UV-C and PL Irradiation of Fruits and Vegetables // *Chemi. Eng. Trans.* 2015. V. 44. pp. 31-36. <https://doi.org/10.3303/CET1544006>.

79. Le Goff L., Hubert B., Favennec L., Villena I., Ballet J.J., Agoulin A., Orange N., Gargala G. Pilot-Scale Pulsed UV Light Irradiation of Experimentally Infected Raspberries Suppresses *Cryptosporidium Parvum* Infectivity in Immunocompetent Suckling Mice // *J. Food Prot.* 2015. V. 78(12). pp. 2247-2252. <https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-15-062>.

80. Bermúdez-Aguirre D., Barbosa-Cánovas G.V. Disinfection of Selected Vegetables Under Nonthermal Treatments: Chlorine, Acid Citric, Ultraviolet Light and Ozone // *Food Control.* 2013. V. 29(1). pp. 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.073>.

81. Baykuş G., Akgün M.P., Unluturk S. Effects of Ultraviolet-Light Emitting Diodes (UV-LEDs) on Microbial Inactivation and Quality Attributes of Mixed Beverage Made from Blend of Carrot, Carob, Ginger, Grape and Lemon Juice // *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2020. V. 67. p. 102572. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102572>.

82. Du W.-X., Avena-Bustillos R.J., Breksa A.P., McHugh T.H. UV-B Light as a Factor Affecting Total Soluble Phenolic Contents of Various Whole and Fresh-Cut Specialty Crops // *Postharvest. Biol. Technol.* 2014. V. 93. pp. 72-82. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.02.004>.

83. Vázquez-Ovando A., López-Hilerio H., Salvador-Figueroa M., Adriano-Anaya L., Rosas-Quijano R., Gálvez-López D. Usocombinado de radiación UV-C y biorecurrimiento de quitosán con aceites esenciales para el control de hongos en papaya Maradol // *Revista Bras. Frutic.* 2018. V. 40(3). e688. DOI: 10.1590/0100-29452018688.

84. Brodowska A.J., Nowak A., Śmigielski K. Ozone in the Food Industry: Principles of Ozone Treatment, Mechanisms of Action, and Applications: An Overview // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2018. V. 58(13). pp. 2176-2201. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1308313>.

85. Pandiselvam R., Kaavya R., Jayanath Y., Veenutranon K., Lueprasitsakul P., Divya V., Kothakota A., Ramesh S.V. Ozone as a Novel Emerging Technology for the Dissipation of Pesticide Residues in Foods-A Review // *Trends Food Sci. Technol.* 2020. V. 97. pp. 38-54. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.017>.

86. Mohammad Z., Kalbasi-Ashtari A., Riskowski G., Juneja V., Castillo A. Inactivation of *Salmonella* and Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli* (STEC) from the Surface of Alfalfa Seeds and Sprouts by Combined Antimicrobial Treatments Using Ozone and Electrolyzed Water // *Food. Res. Int.* 2020. V. 136. p. 109488. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109488>.

87. Taiye-Mustapha A., Zhou C., Wahia H., Amanor-Atiemoh R., Otu P., Qudus A., Abiola Fakayode O., Ma H. Sonozonation: Enhancing the Antimicrobial Efficiency of Aqueous Ozone Washing Techniques on Cherry Tomato // *Ultrason. Sonochem.* 2020. V. 64. p.105059. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105059>.

88. Burak L.Ch. Use of ozone technology in the food industry // Minsk: State Enterprise "Stroy Media Proekt". 2022. 144 p. ISBN 978-985-7172-84-9. (In Russ.). <https://doi.org/10.12731/978-985-7172-84-9>.

89. Sharma P., Shehin V.P., Kaur N., Vyas P. **ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2024**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА ХРАНЕНИЯ ФРУКТОВ И ОВОЩЕЙ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

- tion of Edible Coatings on Fresh and Minimally Processed Vegetables: A Review // *Int. J. Veg. Sci.* 2019. V. 25(3). pp. 295-314. <https://doi.org/10.1080/19315260.2018.1510863>.
90. Hassan B., Chatha S.A.S., Hussain A.I., Zia K.M., Akhtar N. Recent Advances on Polysaccharides, Lipids and Protein Based Edible Films and Coatings: A Review // *Int. J. Biol. Macromol.* 2018. V. 109. pp. 1095-1107. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomac.2017.11.097>.
91. Janesch J., Arminger B., Gindl-Altmutter W., Hansmann C. Coatings Superhydrophobic Coatings on Wood Made of Plant Oil and Natural Wax // *Prog. Org. Coat.* 2020. V. 148. P. 105891. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105891>.
92. Singh S., Khemariya P., Rai A., Chandra A., Koley T.K., Singh B. Carnauba Wax-Based Edible Coating Enhances Shelf-Life and Retain Quality of Eggplant (*Solanum melongena*) Fruits // *LWT.* 2016. V. 74. pp. 420-426. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.004>.
93. Oregel-Zamudio E., Angoa-Pérez M.V., Oyoque-Salcedo G., Aguilar-González C.N., Mena-Violante H.G. Effect of Candelilla Wax Edible Coatings Combined with Biocontrol Bacteria on Strawberry Quality During the Shelf-Life. *Sci. Hortic.* 2017, 214, 273-279. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.038>.
94. Ayesha T., Nasrin A., Rahman A., Sadia M., Islam N. Effect of Novel Coconut Oil and Beeswax Edible Coating on Postharvest Quality of Lemon at Ambient Storage // *J. Agric. Food Res.* 2020. V. 2. P. 100019. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2019.100019>.
95. Feng Z., Wu G., Liu C., Li D., Jiang B., Zhang X. Edible Coating Based on Whey Protein Isolate Nanofibrils for Anti-oxidation and Inhibition of Product Browning // *Food Hydrocol.* 2018. V. 79. pp. 179-188. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.12.028>.
96. Tulamandi S., Rangarajan V., Rizvi S.S.H., Singhal R.S., Chattopadhyay S.K., Saha N.C. A Biodegradable and Edible Packaging Film Based on Papaya Puree, Gelatin, and Defatted Soy Protein // *Food Packag. ShelfLife.* 2016. V. 10. pp. 60-71. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.10.007>.
97. Cortez-Vega W.R., Pizato S., De Souza J.T.A., Prentice C. Using Edible Coatings from Whitemouth Croaker (*Micropogonias furnieri*) Protein Isolate and Organo-Clay Nanocomposite for Improve the Conservation Properties of Fresh-Cut "Formosa" Papaya // *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2014. V. 22. pp. 197-202. DOI: 10.1016/j.ifset.2013.12.007.
98. Grosso A.L., Asensio C.M., Grosso N.R., Nepote V. Increase of Walnuts' Shelf Life Using a Walnut Flour Protein-Based Edible Coating // *LWT.* 2020. V. 118. p. 108712. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108712>.
99. González-Estrada R.R., Chalier P., Ragazzo-Sánchez J.A., Konuk D., Calderón-Santoyo M. Antimicrobial Soy Protein Based Coatings: Application to Persian Lime (*Citrus latifolia* Tanaka) for Protection and Preservation // *Postharvest. Biol. Technol.* 2017. 132. pp. 138-144. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.06.005>.
100. Mohamed S.A.A., El-Sakhawy M., El-Sakhawy M.A.M. Polysaccharides, Protein and Lipid -Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review // *Carbohydr. Polym.* 2020. V. 238. p. 116178. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116178>.
101. Lara G., Yakoubi S., Villacorta C.M., Uemura K., Kobayashi I., Takahashi C., Nakajima M., Neves M.A. Spray Technology Applications of Xanthan Gum-Based Edible Coatings for Fresh-Cut Lotus Root (*Nelumbo nucifera*). *Food. Res. Int.* 2020. V. 137. p. 109723. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109723>.
102. Dos Passos-Braga S., Magnani M., Madruga M.S., de Souza-Galvão M., de Medeiros L.L., Batista A.U.D., Dias R.T.A., Fernandes L.R., de Medeiros E.S., de Souza E.L. Characterization of Edible Coatings Formulated with Chitosan and Mentha Essential Oils and Their Use to Preserve Papaya (*Carica Papaya* L.) // *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2020. V. 65. p. 102472. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102472>.
103. Hu X., Saravanakumar K., Sathiyaseelan A., Wang M.-H. Chitosan Nanoparticles as Edible Surface Coating Agent to Preserve the Fresh-Cut Bell Pepper (*Capsicum Annum* L. Var. *grossum* (L.) Sendt). *Int. J. Biol. Macrom.* 2020. V. 165. pp. 948-957. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomac.2020.09.176>.
104. Salama H.E., Abdel Aziz M.S. Optimized Alginate and Aloe Vera Gel Edible Coating Reinforced with NTiO₂ for the Shelf-Life Extension of Tomatoes // *Int. J. Biol. Macrom.* 2020. V. 165. pp. 2693-2701. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomac.2020.10.108>.
105. Monzón-Ortega K., Salvador-Figueroa M., Gálvez-López D., Rosas-Quijano R., Ovando-Medina I., Vázquez-Ovando A. Characterization of Aloe Vera-Chitosan Composite Films and Their Use for Reducing the Disease Caused by Fungi in Papaya Maradol. *J. Food Sci. Technol.* 2018, 55(12), 4747-4757. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3397-2>.
106. Wu S. Extending Shelf-Life of Fresh-Cut Potato with Cactus *Opuntia Dillenii* Polysaccharide-Based Edible Coatings // *Int. J. Biol. Macrom.* 2019. V. 130. pp. 640-644. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomac.2019.03.022>.
107. Kumar K., Srivastav S., Sharanagat V.S. Ultrasound Assisted Extraction (UAE) of Bioactive Compounds from Fruit and Vegetable Processing By-Products: A Review // *Ultrason. Sonochem.* 2021. V. 70. p. 105325. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105325>.
108. Bhargava N., Mor R.S., Kumar K., Sharanagat V.S. Advances in Application of Ultrasound in Food Processing: A Review // *Ultrason. Sonochem.* 2021. V. 70. p. 105293. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293>.
109. Jiang L., Yang Y., Chen Y., Zhou Q. Ultrasound-Induced Wireless Energy Harvesting: From Materials Strategies to Functional Applications // *Nano. Energy.* 2020. 77. p. 105131. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105131>.
110. Cuéllar-Villarreal M.R., Ortega-Hernández E., Becerra-Moreno A., Welti-Chanes J., Cisneros-Zevallos L., Jacobo-Velázquez D.A. Effects of Ultrasound Treatment and Storage Time on the Extractability and Biosynthesis of Nutraceuticals in Carrot (*Daucus carota*) // *Postharvest. Biol. Technol.* 2016. V. 119. pp. 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.04.013>.
111. Millan-Sango D., Garroni E., Farrugia C., Van Impe J.F., Valdramidis V.P. Determination of the Efficacy of Ultrasound Combined with Essential Oils on the Decontamination of Salmonella Inoculated Lettuce Leaves // *LWT.* 2016. V. 73. pp. 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.039>.
112. Millan-Sango D., Sammut E., Van Impe J.F., Valdramidis V.P. Decontamination of Alfalfa and Mung Bean Sprouts by Ultrasound and Aqueous Chlorine Dioxide // *LWT.* 2017. V. 78. pp. 90-96. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.015>.
113. Xin Y., Zhang M., Adhikari B. Ultrasound Assisted Immersion Freezing of Broccoli (*Brassica Oleracea* L. Var. *Bortyris* L.) // *Ultrason. Sonochem.* 2014. V. 21(5). pp. 1728-1735. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.03.017>.
114. Tu J., Zhang M., Xu B., Liu H. Effects of Different Freezing Methods on the Quality and Microstructure of Lotus (*Nelumbo nucifera*) Root // *Int. J. Refrig.* 2015. V. 52. pp. 59-65. <https://doi.org/10.1016/j.jrefrig.2014.12.015>.
115. Mu Y., Feng Y., Wei L., Li C., Cai G., Zhu T. Combined Effects of Ultrasound and Aqueous Chlorine Dioxide Treatments on Nitrate Content During Storage and Postharvest Storage Quality of Spinach (*Spinacia Oleracea* L.) // *Food Chem.* 2020. V. 333. P. 127500. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127500>.
116. Chiozzi V., Agriopoulou S., Varzakas T. Advances, Applications, and Comparison of Thermal (Pasteurization, Sterilization, and Aseptic Packaging) Against Non-Thermal (Ultra-

- sounds, UV Radiation, Ozonation, High Hydrostatic Pressure) Technologies in Food Processing // *Appl. Sci.* 2022. V. 12(4). p. 2202. <https://doi.org/10.3390/app12042202>.
117. Wohner B., Gabriel V.H., Krenn B., Krauter V., Tacker M. Environmental and Economic Assessment of Food-Packaging Systems with a Focus on Food Waste. Case Study on Tomato Ketchup // *Sci. Total Environ.* 2020. V. 738. p. 139846. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139846>.
118. Nilsen-Nygaard J., Fernández E.N., Radusin T. [et al.]. Current status of biobased and biodegradable food packaging materials: Impact on food quality and effect of innovative processing technologies // *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2021. V. 20(2). pp. 1333-1380. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12715>.
119. Deepa G.T., Chetti M.B., Khetagoudar M.C., Adavirao G.M. Influence of Vacuum Packaging on Seed Quality and Mineral Contents in Chilli (*Capsicum Annuum* L.) // *J. Food Sci. Technol.* 2013. V. 50(1). pp. 153-158. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0241-3>.
120. Padmanaban G., Singaravelu K., Annavi S.T. Increasing the Shelf-Life of Papaya Through Vacuum Packing // *J. Food Sci. Technol.* 2014. V. 51(1). pp. 163-167. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0468-z>.
121. Zhang S.J., Hu T.T., Liu H.K., Chen Y.Y., Pang X.J., Zheng L.L., Chang S.M., Kang Y.F. Moderate Vacuum Packing and Low Temperature Effects on Qualities of Harvested Mung Bean (*Vigna Radiata* L.) // *Sprouts. Postharvest. Biol. Technol.* 2018. V. 145. pp. 83-92. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.06>.
122. Zandi M., Ganjloo A., Bimakr M., Moradi N., Nikoomanesh N. Effect of Active Coating Containing Radish Leaf Extract with or Without Vacuum Packaging on the Postharvest Changes of Sweet Lemon During Cold Storage // *J. Food Process Preserv.* 2021. V. 45(3). e15252. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15252>.
123. Dorostkar M., Moradinezhad F. Postharvest Quality Responses of Pomegranate Fruit (*Cv. Shishekab*) to Ethanol, Sodium Bicarbonate Dips and Modified Atmosphere Packaging // *Adv. Hortic. Sci.* 2022. V. 36(2). pp. 107-117. <https://doi.org/10.36253/ahsc-12041>.
124. Wilson M.D., Stanley R.A., Eyles A., Ross T. Innovative Processes and Technologies for Modified Atmosphere Packaging of Fresh and Fresh-Cut Fruits and Vegetables // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2019. V. 59(3). pp. 411-422. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1375892>.
125. Kim S.Y., Bang I.H., Min S.C. Effects of Packaging Parameters on the Inactivation of Salmonella Contaminating Mixed Vegetables in Plastic Packages Using Atmospheric Dielectric Barrier Discharge Cold Plasma Treatment // *J. Food Eng.* 2019. V. 242. pp. 55-67. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.08.020>.
126. Han-Lyn F., Maryam-Adilah Z.A., Nor-Khaizura M.A.R., Jamilah B., Nur-Hanani Z.A. Application of Modified Atmosphere and Active Packaging for Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus*) // *Food Packag. Shelf Life.* 2020. V. 23. p. 100451. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100451>.
127. Mudau A.R., Soundy P., Araya H.T., Mudau F.N. Influence of Modified Atmosphere Packaging on Postharvest Quality of Baby Spinach (*Spinacia Oleracea* L.) Leaves // *Hort Science.* 2018. V. 53(2). pp. 224-230. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12589-17>.
128. Candir E., Ozdemir A.E., Aksoy M.C. Effects of Chitosan Coating and Modified Atmosphere Packaging on Postharvest Quality and Bioactive Compounds of Pomegranate Fruit *Cv. 'Hicaznar'* // *Sci. Hortic.* 2018. V. 235. pp. 235-243. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.017>.
129. Olawuyi I.F., Park J.J., Lee J.J., Lee W.Y. Combined Effect of Chitosan Coating and Modified Atmosphere Packaging on Fresh-Cut Cucumber // *Food Sci. Nutr.* 2019. V. 7(3). pp. 1043-1052. <https://doi.org/10.1002/fsn.3.937>.
130. Burak L.Ch., Sapach A.N. Innovative packaging for food products // *Scientific review. Technical science.* 2023. No. 2. P. 50-57. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/srts.1434>.
131. Gaona-Forero A., Agudelo-Rodríguez G., Herrera A.O., Castellanos D.A. Modeling and Simulation of an Active Packaging System with Moisture Adsorption for Fresh Produce. Application in 'Hass' Avocado // *Food Packag. Shelf Life.* 2018. V. 17. pp. 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.07.005>.
132. Priyadarshi R., Sauraj K., Negi B., S Y. Chitosan Film Incorporated with Citric Acid and Glycerol as an Active Packaging Material for Extension of Green Chilli Shelf Life // *Carbohydr. Polym.* 2018. V. 195. pp. 329-338. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.089>.
133. Szabo K., Teleky B.E., Mitrea L., Călinoiu L.F., Martău G.A., Simon E., Varvara R.A., Vodnar D.C. Active Packaging-Poly(vinyl Alcohol) Films Enriched with Tomato By-Products Extract // *Coatings.* 2020. V. 10(2). p. 141. <https://doi.org/10.3390/coatings10020141>.
134. Sanches M.A.R., Camelo-Silva C., Da Silva Carvalho C., De Mello J.R., Barroso N.G., Da Silva Barros E.L., Paulino S.P., Pertuzatti P.B. Active Packaging with Starch, Red Cabbage Extract and Sweet Whey: Characterization and Application in Meat // *LWT.* 2021. V. 135. p. 110275. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110275>.
135. Fuertes G., Soto I., Carrasco R., Vargas M., Sabbatin J., Lagos C. Intelligent Packaging Systems: Sensors and Nanosensors to Monitor Food Quality and Safety // *J. Sens.* 2016. V. 2016. p. 4046061. <https://doi.org/10.1155/2016/4046061>.
136. Burak L.Ch. Review of the development of biodegradable packaging materials for the food industry // *Polzunovsky Bulletin.* 2023. No. 1. P. 91-105. (In Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.012>.
137. Dirpan A., Latief R., Syarifuddin A., Rahman A.N.F., Putra R.P., Hidayat, S.H. The Use of Colour Indicator as a Smart Packaging System for Evaluating Mangoes *Arummanis* (*Mangifera Indica* Var. L. The Use of Colour Indicator as a Smart Packaging System for Evaluating Mangoes *Arummanis* (*Mangifera Indica*). IOP Conf. S.: Earth Environ. Sci. 2018. V. 157. p. 012031. DOI: 10.1088/1755-1315/157/1/012031.
138. Medina-Jaramillo C., Ochoa-Yepes O., Bernal C., Famá L. Active and Smart Biodegradable Packaging Based on Starch and Natural Extracts // *Carbohydr. Polym.* 2017. V. 176. pp. 187-194. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.079>.
139. Burak L.Ch., Sapach A.N., Pisarik M.I. Intelligent packaging for vegetables and fruits, classification and prospects for use: Review of the subject field // *Health, Food & Biotechnology.* 2023. T. 5. No. 1. P. 51-80. (In Russ.). <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i1.s165>.
140. Wang C., Yusufu D., Mills A. A Smart Adhesive "Consume Within" (CW) Indicator for Food Packaging // *Food Pack. Shelf Life.* 2019. V. 22. p. 100395. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100395>.
141. Latos-Brozio M., Masek A. The Application of Natural Food Colorants as Indicator Substances in Intelligent Biodegradable Packaging Materials // *Food. Chem. Toxicol.* 2020. V. 135. P. 110975. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110975>.
142. Shao P., Liu L., Yu J., Zheng L., Sun P. Novel aldehyde sensitive bio-based colorimetric film for kiwi fruit freshness monitoring // *LWT.* V. 159. p. 113177. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113177>.
143. Lu P., Liu R., Liu X., Wu M. Preparation of Self-supporting bagasse cellulose nanofibrils hydrogels induced by zinc ions // *Nanomaterials.* 2018. V. 8(10). P.800. <https://doi.org/10.3390/nano8100800>.
144. Warsiki E. & Roffah, N. Dragon fruit freshness detector based on methyl red colour indicator // *IOP Conference*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА ХРАНЕНИЯ ФРУКТОВ И ОВОЩЕЙ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

- Series: Earth and Environmental Science. 2018. V. 209. p. 012016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/209/1/012016>.
145. Kuswandi B. & Murdyaningsih E.A. Simple on package indicator label for monitoring of grape ripening process using colorimetric pH sensor // Journal of Food Measurement and Characterization. 2017. V. 11(4) pp. 2180-2194. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9603-5>.
146. Zhou W., Wu Z., Xie F., Tang S., Fang J. & Wang, X. 3D printed nanocellulose-based label for fruit freshness keeping and visual monitoring // Carbohydrate Polymers. 2021. V. 273. p. 118545. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118545>.
147. Maftoonazad N. & Ramaswamy H. Design and testing of an electrospun nanofiber mat as a pH biosensor and monitor the pH associated quality in fresh date fruit (Rutab) // Polymer Testing. 2019. V. 75. pp. 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2019.01.011>.
148. Liu M., Zhang J., Liu S. & Li B. A label-free visual aptasensor for zearalenone detection based on target-responsive aptamer-cross-linked hydrogel and color change of gold nanoparticles // Food Chemistry. 2022. V. 389. P. 133078. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133078>.
149. Onyeaka H., Miri T., Hart A., Anumudu C., Nwabor O.F. Application of Ultrasound Technology in Food Processing with Emphasis on Bacterial Spores // Food Rev. Int. 2021. V. 1-13. pp. 3663-3675. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2013255>.
150. Mieszczakowska-Frac M., Celejewska K., Plochanski W. Impact of Innovative Technologies on the Content of Vitamin C and Its Bioavailability from Processed Fruit and Vegetable Products // Antioxidants. 2021. V. 10(1). p. 54. <https://doi.org/10.3390/antiox10010054>.
151. Hradecky J., Kludská E., Belkova B., Wagner M., Hajslova J. Ohmic Heating: A Promising Technology to Reduce Furan Formation in Sterilized Vegetable and Vegetable / Meat Baby Foods // Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 2017. V. 43. pp. 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.07.018>.
152. Wang M.S., Wang L.H., Bekhit A.E.D.A., Yang J., Hou Z.P., Wang Y.Z., Dai Q.Z., Zeng X.A. A Review of Sublethal Effects of Pulsed Electric Field on Cells in Food Processing // J. Food Eng. 2018. V. 223. pp. 32-41. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.035>.
153. Wu X., Wang C., Guo Y. Effects of the High-Pulsed Electric Field Pretreatment on the Mechanical Properties of Fruits and Vegetables // J. Food Eng. 2020. V. 274. P. 109837. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2019.109837.
154. Li Z., Yang H., Fang W., Huang X., Shi J., Zou X. Effects of Variety and Pulsed Electric Field on the Quality of Fresh-Cut Apples // Agriculture. 2023. V. 13. p. 929. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050929>.
155. Sharma R.R., Reddy S.V.R., Sethi S. Cold Plasma Technology for Surface Disinfection of Fruits and Vegetables. In Postharvest Disinfection of Fruits and Vegetables // Siddiqui, M.W., Ed.; Cambridge, USA: Academic Press. 2018. pp. 197-209. <https://doi.org/10.3390/2Fijms20205216>.
156. Admane N., Genovese F., Altieri G., Tauriello A., Trani A., Gambacorta G., Verrastro V., Di Renzo G.C. Effect of Ozone or Carbon Dioxide Pre-Treatment During Long-Term Storage of Organic Table Grapes with Modified Atmosphere Packaging // LWT. 2018. V. 98. pp. 170-178. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.041>.
157. Sethi S., Joshi A., Arora B. UV Treatment of Fresh Fruits and Vegetables. In Postharvest Disinfection of Fruits and Vegetables; Siddiqui, M.W., Ed.; Cambridge, USA: Academic Press. 2020. pp. 137-157. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.32118>.
158. Severo J., De Oliveira I.R., Tiecher A., Chaves F.C., Rombaldi, C.V. Postharvest UV-C Treatment Increases Bioactive, Ester Volatile Compounds and a Putative Allergenic Protein in Strawberry // LWT. 2015. V. 64(2). pp. 685-692. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.041>.
159. Severo J., de Oliveira I.R., Bott R., Le Bourvellec, C., Renard, C.M.G.C., Page D., Chaves F.C., Rombaldi C.V. Preharvest UV-C Radiation Impacts Strawberry Metabolite Content and Volatile Organic Compound Production // LWT. 2017. V. 85. pp. 390-393. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.032>.
160. Babu P.J., Longchar B., Rajasekhar A. Nanobiotechnology-Mediated Sustainable Agriculture and Post-Harvest Management // Curr. Res. Biotechnol. 2022. V. 4. pp. 326-336. <https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2022.07.004>.
161. Simunovic J., Sandeep K.P. Key Technological Advances and Industrialization of Continuous Flow Microwave Processing for Foods and Beverages. In Food Engineering Innovations Across the Food Supply Chain; Juliano, P., Buczkow, R., Nguyen, M.H., Knoerzer, K. and Sellahewa, J., Eds.; Cambridge, USA // Academic Press. 2022. pp. 149-162.
162. Tan G.H., Ali A., Siddiqui Y.C.S. Perspectives and Challenges in Management and Control of Postharvest Diseases of Papaya // Sci. Hortic. 2022. V. 301. p. 111139. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111139>.
163. Alekseenko E.V., Karimova N.Yu., Tsvetkova A.A. Methods of processing blueberries: current state and development prospects // Storage and processing of agricultural raw materials. 2023. No. 1. pp. 22-44. (In Russ.). <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.353>.

Информация об авторах

Л. Ч. Бурак – доктор философии в области пищевых наук, кандидат технических наук, профессор РАЕ, директор Общества с ограниченной ответственностью «Белросакава», г. Минск, ул. Пономаренко 35А, 610. тел. +375296466525.

Information about the authors

L.Ch. Burak - Doctor of Philosophy in the field of food sciences, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Russian Academy of Natural Sciences, Director of the Limited Liability Company "Belrosakava", tel. +375296466525.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 28 июня 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 05 марта 2024.

The article was received by the editorial board on 28 June 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 05 Mar 2024.