

УДК 634.75:664.8

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОДОВ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ (*FRAGARIA* × *ANANASSA DUCH.*) (ОБЗОР)

Л.Ч. Бурак¹ , Н.Л. Овсянникова¹

¹ ООО «БЕЛРОСАКВА», ул. Пономаренко, 35А, 220015, Минск, Республика Беларусь, info@belrosakva.by

Аннотация

По причине микробиологической порчи и сезонной доступности плодов, вопросы их длительного хранения являются актуальными. Для предотвращения микробного загрязнения и продления срока годности садовой земляники использовались различные методы послеуборочной обработки. Цель данного исследования обзор современных послеуборочных методов обработки плодов земляники садовой, с целью снижения микробиологической порчи и продления срока хранения. Проведен обзор научных публикаций и электронных ресурсов за период с 2012 по 2024 годы. Поиск релевантной литературы осуществлялся по ключевым словам через научные базы данных, такие как Scopus, Web of Science и РИНЦ, а также с использованием системы Google Scholar. Исследование включало работы, опубликованные на английском и русском языках. Традиционно для сохранения плодов после сбора урожая и продления срока ее годности применяют термическую, плазменную, радиационную, химическую и биологическую обработку. За последние десятилетия были разработаны современные экологически чистые технологии, включая упаковку в модифицированной и контролируемой атмосфере, упаковку на основе активных биополимеров или съедобные покрытия. Данные методы способны значительно увеличить срок хранения плодов, а также обеспечить сохранение качества и безопасность растительного сырья. В ходе данного обзора рассмотрены процессы метаболизма и биохимии, которые лежат в основе процесса созревания плодов земляники садовой, дан анализ факторов, вызывающих порчу плодов земляники садовой, а также представлены современные способы обработки. Данный обзор может представлять интерес для научного сообщества, так и для специалистов агропромышленного комплекса, занимающихся сбором и реализацией плодов и ягод.

Ключевые слова: земляника садовая, рост, созревание, биоактивные соединения, послеуборочная гниль, термическая обработка, дезинфекция, облучение, обработка холодной плазмой

MODERN METHODS OF STRAWBERRY FRUIT (*FRAGARIA* × *ANANASSA DUCH.*) POST-HARVEST TREATMENT (REVIEW)

L.Ch. Burak¹ , N.L. Ovsyannikova¹

¹ LLC "BELROSAKVA", Ponomarenko str., 35A, 220015, Minsk, Republic of Belarus info@belrosakva.by

Abstract

The shelf life of garden strawberry fruits when stored under recommended conditions is about a week. Due to microbiological spoilage and seasonal availability of fruits, the issues of their long-term storage are relevant. Various methods of post-harvest treatment have been used to prevent microbial contamination and extend the shelf life of garden strawberries. The purpose of this study is to review modern post-harvest methods of garden strawberry fruits treatment to reduce microbiological spoilage and extend the shelf life of berries. A review of scientific publications and

electronic resources for the period from 2012 to 2024 was conducted. The search for relevant literature was carried out by keywords through scientific databases such as Scopus, Web of Science and RSCI, as well as using the Google Scholar system. The study included papers published in English and Russian. Traditionally, thermal, plasma, radiation, chemical and biological treatments are used to preserve fruits after harvesting and extend their shelf life. In recent decades, modern environmentally friendly technologies have been developed, including modified and controlled atmosphere packaging, packaging based on active biopolymers or edible coatings. These methods can significantly increase the shelf life of fruits, as well as ensure the preservation of the quality and safety of raw plant materials. The first part of this review examines the metabolic and biochemical processes that underlie the ripening process of garden strawberries and provides an analysis of the factors causing spoilage of garden strawberries. This review may be of interest to the scientific community, as well as to specialists in the agro-industrial complex involved in the harvest and sale of fruits and berries.

Key words: strawberry, growth, ripening, bioactive compounds, postharvest rot, heat treatment, disinfection, irradiation, cold plasma treatment

Введение

Земляника садовая (*Fragaria × ananassa* Duch.) – популярное гибридное растение, выращиваемое во всем мире. В среднем 100-граммовая порция земляники садовой содержит всего 32 калории и в основном состоит из воды (90,95 г), что делает ее приятным и низкокалорийным продуктом. Несмотря на свою низкую калорийность, садовая земляника богата необходимыми питательными веществами, обеспечивая организм различными витаминами, минералами, полифенолами, биоактивными соединениями, и содержит в 100 г плодов 0,67 г белка, 0,30 г жира и 7,68 г углеводов (Акимов и др., 2020; Sadik et al., 2023). Антиоксиданты и биоактивные соединения, присутствующие в землянике садовой, благотворно влияют на здоровье организма. Кроме того, земляника садовая содержит пищевые волокна, которые полезны для пищеварительной системы, поскольку помогают сбалансировать кишечную микробиоту, предотвращая проблемы с пищеварением (Baicu, Pora, 2018). Содержание волокон в сочетании с биоактивными соединениями помогает регулировать уровень сахара в крови, что важно для контроля диабета 2 типа (Miller et al., 2022). В разных количествах, в зависимости от сорта и стадии созревания плодов, в землянике садовой присутствуют различные вторичные метаболиты, включая антоцианы, эллаговую кислоту, эллагитаннины и галловую кислоту. Вторичные метаболиты действуют как антиоксиданты, которые помогают уменьшить воспаление и окислительный стресс. Исследования показали, что данные антиоксиданты являются биологически активными соединениями, которые могут снизить риск хронических заболеваний, таких как рак и болезни сердца, нейтрализуя свободные радикалы, негативно влияющие на организм (Miller et al., 2022). Благодаря своей высокой пищевой ценности и вкусовым качествам земляника садовая выращивается во всем мире, особенно в странах с умеренным климатом. Китай, США и Египет являются ведущими мировыми производителями земляники садовой. В 2022 году в Китае, крупнейшем, согласно данным ФАО, производителе с 1994 года, произведено более 3,3 млн тонн земляники садовой. Далее следуют США – 1,2 млн т, Турция – 0,73 млн т. Египет, Мексика, Испания, Россия, Польша, Корея и Бразилия также являются ведущими производителями земляники садовой, каждый из которых производит от 0,18 до 0,64 млн т (https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity). Более того, мировой рынок земляники садовой растет огромными темпами. Ожидается, что к 2028 году объем мирового рынка свежей земляники садовой достигнет 43,33 млрд долларов США, что соответствует совокупному годовому темпу роста (CAGR) в 11,2% в период с 2022 по 2028 год

(<https://www.skyquestt.com/report/fresh-strawberry-market>). Однако срок годности земляники садовой составляет около недели при хранении в рекомендуемых условиях, то есть при температуре 0°C и относительной влажности воздуха 90...95%, и около 2...4 дней при хранении в условиях окружающей среды или в розничных условиях, то есть при температуре от 5 до 7°C и относительной влажности воздуха от 50 до 90% (Ktenioudaki et al., 2019; Miller et al., 2022). Кроме того, ее высокий пищевой профиль и содержание влаги около 90% делают ее с течением времени очень восприимчивой к микробному загрязнению, что приводит к огромным потерям земляники садовой после сбора урожая (Бурак, 2025; Nguyen et al., 2020). Исследования показывают, что каждый год выбрасывается около 56% земляники садовой собранной в Онтарио, Канада, (Siu, 2014). Помимо порчи из-за микробного воздействия, сообщается о нескольких вспышках заболеваний, где в качестве переносчиков микроорганизмов была земляника садовая. В 2012 году крупная вспышка гастроэнтерита норовируса (NoV) затронула более 11000 человек в Германии и была связана с замороженной клубникой, импортированной из Китая (Lafarga et al., 2019). Отчет, опубликованный Группой по биологическим опасностям Европейского агентства по безопасности пищевых продуктов, показал, что риск заражения *Salmonella* и NoV в садовой землянике, который был идентифицирован как результат низкой санитарии, перекрестного заражения от обработчиков пищевых продуктов и использования загрязненной воды для мытья фруктов значительно высок (Lafarga et al., 2019). Высокий потенциал микробного заражения земляники садовой и связанные с этим риски для здоровья обуславливают необходимость послеуборочной дезинфекции плодов земляники садовой. С целью продления срока годности, уменьшения порчи и максимального сохранения качества растительного сырья решающее значение имеют методы послеуборочного консервирования. Передовые методы, такие как хранение в холодильнике и упаковка в модифицированной атмосфере (MAP), не только продлевают срок годности, но и способствуют глобальной торговле, расширяя возможности экспорта и минимизируя экономические потери от отходов как на внутреннем, так и на международном рынках (Бурак, 2024a; Lafarga et al., 2019). Для предотвращения микробного загрязнения и продления срока годности земляники садовой использовались различные методы послеуборочной обработки. Химическая обработка является наиболее удобным и экономичным методом, который включает обработку свежих продуктов различными химическими соединениями, такими как электролизованная окислительная вода, органические кислоты, озон, хлорированные соединения и пары этанола (Бурак, 2024b; Бурак, 2025). Наиболее распространенным и традиционным методом химической обработки является хлорирование. Хлорноватистая кислота и гипохлорит являются обычно используемыми химикатами на основе хлора для дезинфекции свежих продуктов. Как правило, время их воздействия составляет 5 мин при концентрации свободного хлора от 50 до 200 ppm. Однако во многих странах этот метод в настоящее время не применяется из-за его ограниченной эффективности, остаточного запаха и, что наиболее важно, из-за связанных с ним рисков для здоровья (Бурак, 2025). Хлорирование свежих продуктов приводит к реакции между соединениями хлора и органическими молекулами в пище, что приводит к образованию вредных побочных продуктов, включая канцерогенные и мутагенные соединения, такие как хлороформ и другие тригалометаны, хлорамины и галоуксусные кислоты (Бурак, 2025). Также было разработано несколько экологически чистых методов физической обработки для дезинфекции свежей продукции после сбора урожая. Широко используются такие методы, как обработка под высоким давлением и обработка интенсивным импульсным светом (Бурак, 2025; Бурак, 2024b). Помимо упомянутых методов обработки, еще одной стратегией сохранения земляники садовой после сбора урожая является упаковка. Упаковка играет

важную функцию в сохранении качества свежей продукции после того, как она покидает хранилища, попадает в супермаркеты и в итоге покупается потребителями (Бурак, 2025; El-Ramady et al., 2015; Miller et al., 2022). Различные методы упаковки, такие как активная упаковка, активное покрытие в модифицированной среде (MAP), использовались для сохранения качества земляники садовой (El-Ramady et al., 2015). Несмотря на множество научных исследований об этих методах послеуборочной консервации земляники садовой, на сегодняшний день нет обзоров, которые бы всесторонне анализировали все эти методы послеуборочной консервации. Хотя некоторые обзоры были опубликованы по отдельным технологиям обработки, ни одно исследование не рассматривало и не сравнивало традиционные и передовые методы консервирования земляники садовой. Поэтому, цель данного исследования – обзор современных послеуборочных методов обработки плодов земляники садовой, с целью снижения микробиологической порчи и продления срока хранения. В статье рассмотрены процессы метаболизма, которые лежат в основе процесса созревания земляники садовой, а также дан анализ факторов, вызывающих порчу плодов земляники садовой.

Объекты и методы исследования

Для анализа применения современных послеуборочных методов обработки плодов земляники садовой, с целью снижения микробиологической порчи и продления срока хранения был проведен обзор научных публикаций и электронных ресурсов за период с 2012 по 2024 годы. Поиск релевантной литературы осуществлялся через научные базы данных, Scopus, Web of Science и РИНЦ, а также с использованием системы Google Scholar. Исследование включало работы, опубликованные на английском и русском языках. Систематический обзор результатов исследований был проведен согласно критериям PRISMA 2020. Отбор источников для анализа реализовался по следующим ключевым словам: «strawberry», «growth biochemistry», «ripening», «bioactive compounds», «postharvest rot», «heat treatment», «disinfection», «irradiation», «cold plasma treatment», «земляника садовая», «качество», «созревание», «послеуборочная гниль», «пищевая ценность», «микробиологическое загрязнение», «обеззараживание», «озон», «холодная плазма». Критерии включения для статей, подлежащих анализу:

1. Статья написана в период 2012...2024 гг.;
2. Статья соответствует теме исследования;
3. Типы анализируемых статей – оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи, краткие отчеты.

Критерии исключения для статей, подлежащих анализу: статья не соответствует теме данного обзора; статья написана не на английском языке, статья на русском языке не входит в РИНЦ; 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

1 Биохимические процессы роста и созревания плодов земляники садовой

1.1 Метаболиты, указывающие на процесс созревания

Химический состав плодов земляники садовой во многом зависит от таких факторов, как генотип, методы ведения сельского хозяйства, климатические условия и зрелость. Пищевая ценность плодов земляники садовой связана с растворимыми сахарами, аминокислотами, органическими кислотами и вторичными метаболитами (Акимов и др., 2020; Gündüz, Özbay,

2018). Наиболее распространенными растворимыми сахарами, обнаруженными в землянике садовой, являются глюкоза, фруктоза и сахароза, которые вырабатываются растением в процессе фотосинтеза и транспортируются в плоды в процессе созревания (Fan et al., 2021). Основными органическими кислотами являются лимонная, малоновая и хинная, тогда как второстепенными кислотами являются уксусная, щавелевая, янтарная, изолимонная, фумаровая и аконитовая. Вкус ягод земляники садовой во многом зависит от соотношения общего содержания сахаров и органических кислот. Было установлено, что географическое происхождение влияет на соотношение общего содержания сахаров и органических кислот (Fan et al., 2021).

Помимо сахаров, другими важными показателями созревания плодов являются аминокислоты, фенольные соединения и летучие вещества. Аромат плодов земляники садовой определяется летучими веществами, вырабатываемыми во время развития плодов (Fan et al., 2021; Ulrich et al., 2018). В сортах земляники садовой обнаружено около 280 летучих веществ, из которых 25...90% являются эфирами (метилowymi и этиловыми). Ароматы в зеленых или мясистых плодах обеспечиваются альдегидами, такими как 2- и 3-гексеналь, тогда как сладкие ароматы – фураноном (фуранеол и мезифуран) (Ulrich et al., 2018). Другие водорастворимые соединения, например, аминокислоты, могут эффективно способствовать формированию фруктового вкуса (El Hadi et al., 2013). Синтез и действие гормонов, пигментов, метаболизм сахара, кислот и летучих соединений оказывают большое влияние на биохимию созревания плодов земляники садовой (Shakya, Lal, 2018). Ключевые биохимические факторы, участвующие в процессе созревания плодов, включают распад крахмала и хлорофилла, синтез пигментов и летучих веществ, а также накопление сахаров и органических кислот.

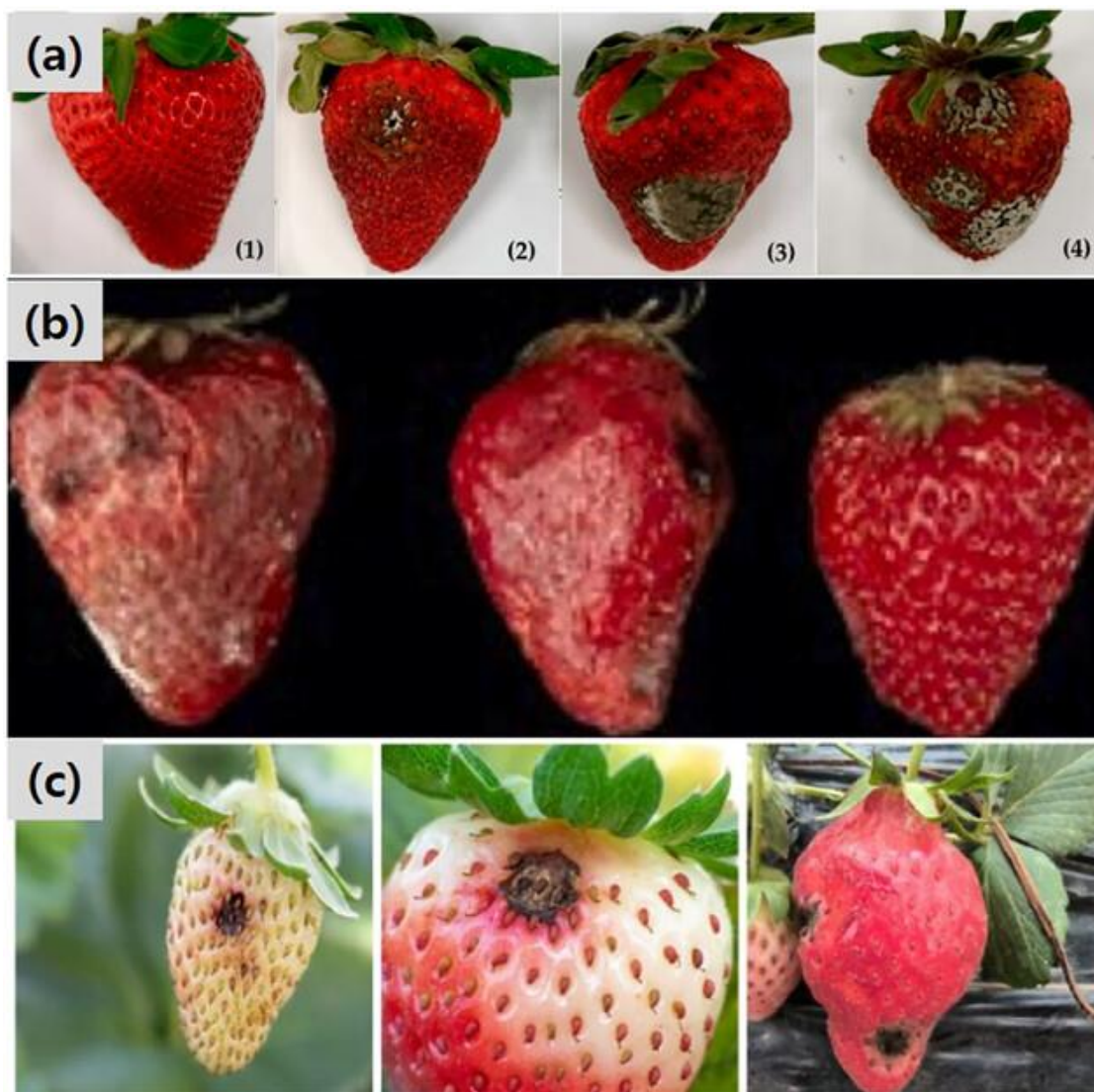
1.2 Созревание и размягчение плодов

Созревание оказывает значительное влияние на качество плодов, послеуборочный период и покупательские предпочтения. Созревание плодов – сложный процесс, который генетически запрограммирован, регулируется окружающей средой и включает биохимические и физиологические изменения. Земляника садовая проходит типичный процесс созревания неклимактерических плодов (Lv et al., 2022). Абсцизовая кислота (АБК) является доминирующим регулятором созревания неклимактерических плодов (Li et al., 2022). В отличие от климактерических плодов, которые показывают характерное увеличение скорости дыхания наряду со значительным и быстрым ростом производства этилена, когда начинается процесс созревания, увеличение дыхания и рост уровня этилена относительно ниже в неклимактерических плодах, таких как земляника садовая (Lv et al., 2022). Плод земляники представляет собой псевдокарпий, состоящий из цветоложа и множества семян, встроенных в эпидермис первого. Развитие цветоложа зависит от ауксина, вырабатываемого семенами, а созревание – от абсцизовой кислоты, синтезируемыми в основном в клетках цветоложа. Решающее значение для процесса созревания плодов земляники имеет соотношение ИУК/АБК. Увеличение содержания АБК начинается на стадии белого цветоложа и резко увеличивается до стадии полностью красного (Панфилова и др., 2023). Плоды земляники садовой имеют зеленый цвет в начале стадий развития, которые в итоге становятся белыми и, наконец, красными при созревании. Хотя уровни этилена не показывают быстрого роста в климактерических плодах, концентрация эндогенного этилена выше на зеленой стадии, снижается на белой стадии и снова увеличивается, когда они созревают, достигая красной стадии (Lv et al., 2022; Dzhanfezova et al., 2020). Скорость дыхания также увеличивается вместе с ростом эндогенного этилена, когда земляника садовая становится из белой красной, то есть на стадии созревания. Кроме того, на уровни

эндогенного этилена не влияет применение экзогенного этилена (Lv et al., 2022). Хотя экзогенный этилен усиливает скорость дыхания земляники садовой, он не влияет на процесс ее созревания. Согласно результатам многих исследований, ни экзогенный этилен, ни скорость дыхания не играют значительной роли в процессе созревания земляники садовой. Уровень ауксина определяет накопление основных сахаров и вторичных метаболитов во время созревания земляники садовой. Ауксин, присутствующий в семянке, задерживает созревание мясистого цветоложа, а цвет, текстура, вкус, аромат и пищевая ценность плода зависят от климатических и генетических факторов. Процессы созревания включают появление красного цвета за счет деградации хлорофилла и накопления каротиноидов или антоцианов. Основными пигментами, ответственными за красный цвет земляники садовой, являются антоцианы, которых было зарегистрировано около 25 типов (Dzhanfezova et al., 2020). Внешний слой плода содержит значительное количество антоцианов, наиболее важных фенольных соединений, составляющих почти 40% от общего содержания фенолов в плоде (Aaby et al., 2012). Три антоциановых пигмента, пеларгонидин 3-О-глюкозид, пеларгонидин 3-О-рутинозид и цианидин 3-О-глюкозид, являются наиболее распространенными в плодах земляники садовой (Dzhanfezova et al., 2020). Ярко-красный цвет земляники садовой обусловлен пеларгонидин 3-О-глюкозидом, а темно-красный цвет обусловлен цианидин 3-О-глюкозидом. На ранних стадиях развития плодов ауксин вместе с гибберелловой кислотой играет важную роль в созревании плодов земляники садовой (Dzhanfezova et al., 2020). Размягчение плодов является одной из ключевых характеристик, определяющих послеуборочный период жизни большинства плодов. Основные события размягчения включают разрушение клеточной стенки и снижение адгезии клеточной стенки. Деполимеризация гликановой матрицы, деполимеризация пектина и потеря некоторых сахаров являются основными процессами, которые происходят во время модификации клеточной стенки (Dzhanfezova et al., 2020; Posé et al., 2012). Эти изменения могут вызывать ослабление клеточной стенки, что в итоге может привести к ее набуханию и увеличению пористости. Кроме того, деградирующие ферменты, такие как гидролазы, лиазы и трансгликозилазы, имеют прямой доступ к субстрату. Срок годности созревшей земляники садовой составляет всего 2...3 дня при обычных условиях хранения в розничной торговле, то есть при температуре около 5...7°C и относительной влажности около 50...90%, что обусловлено высокой интенсивностью дыхания, значительной потерей массы и восприимчивостью к грибковым заболеваниям (Ktenioudaki et al., 2019; Miller et al., 2022).

2 Послеуборочная гниль плодов земляники садовой

Из-за скоропортящейся природы земляники садовой, даже если она ничем не повреждена во время сбора урожая, она склонна к гниению. Однако до сбора урожая многие факторы могут снизить частоту гниения, такие как расстояние между растениями, засоренность, поток воздуха между растениями, применение фунгицидов и некоторые факторы после сбора урожая, такие как технологии хранения и послеуборочной обработки (El-Araby et al., 2023). Большая часть потерь, связанной с хранением и сроком годности земляники садовой, вызвана грибковой гнилью (рисунок 1). Основным патогеном, вызывающим порчу и потери, является *Botrytis cinerea*, за ним следуют *Rhizopus stolonifer*, *Mucor* spp., *Colletotrichum* spp. и *Penicillium* spp. (El-Araby et al., 2023; Weber, Hahn, 2019).



(a) – Серая плесень, вызванная *Botrytis cinerea*; (b) – Мягкая гниль, вызванная *Rhizopus oryzae*; (c) – Антракнозная гниль, вызванная *Colletotrichum acutatum*.

Рисунок 1 – Грибковая гниль плодов после сбора урожая (Promyou et al., 2023; Li et al., 2023; Wang et al., 2024)

2.1 Серая плесень

Наиболее часто встречающейся гнилью земляники садовой является серая плесень, вызываемая *B. cinerea* (некротрофным грибом). Инфекционный механизм *B. cinerea* может проявляться на цветках или на плодах на любой стадии (Kim, 2016; Petrasch et al., 2019). Температура от 18 до 25°C и влажность выше 85% могут быть благоприятными для развития заболевания. Заражение обычно происходит через отверстие или механическую рану. Наличие серого, пушистого мицелия на поверхности плода обычно характерно для этого заболевания. Во время первичного заражения они заражают органы цветка во время или после цветения, позволяя гифам гриба проникнуть внутрь. Зараженные части цветка (тычинки, лепестки, чашелистики) могут способствовать первичному заражению плодов. Исследования на основе транскриптома показали, что незрелые плоды земляники садовой, как правило, устойчивы к грибковой гнили из-за врожденного иммунитета (Petrasch et al., 2019; Haile et al., 2019).

2.2 Мягкая гниль

Мягкая гниль, также известная как *Rhizopus rot* или *Mucor* гниль, вызывается родами *Rhizopus* и *Mucor*, еще одним фитопатогеном, обычно связанным с хранением земляники садовой после сбора урожая (Feliziani, Romanazzi, 2016). Эти два патогена встречаются в почве, воздухе и растительных остатках и могут распространяться ветром и некоторыми беспозвоночными (Ziaee et al., 2016). Плоды земляники садовой, которые в основном находятся ближе к почве, восприимчивы, и дождь также может легко распространять споры этих фитопатогенов. Для инициирования и проникновения инфекции обоим патогенам требуется механическое повреждение поверхности плода, способствующее быстрому распространению мицелия. В первые дни заражения плоды могут быть покрыты черными спорангиями. Наиболее распространенные симптомы, связанные с заражением мягкой гнилью, включают изменение консистенции, расслоение и экссудацию плодов, которые обусловлены действием ферментов полигалактуроназы (ПГ), ксиланазы, целлюлазы и амилазы, повреждающих ткани плодов (Bautista-Baños et al., 2014). Однако быстрое охлаждение плодов после сбора урожая может способствовать снижению распространения и проявления мягкой гнили.

2.3 Антракноз

Антракноз обычно вызывается заражением *Colletotrichum spp.*, особенно *Colletotrichum acutatum* (Petrash et al., 2019; Haile et al., 2019). Вспышки заболевания могут происходить на любой стадии, от предуборочной до послеуборочной обработки и хранения. Данные фитопатогены могут выживать в растительных остатках, зараженных плодах или почве. В целом, высокая влажность, поврежденные или помятые плоды и высокие температуры могут способствовать заражению, а также развитию болезни. Как правило, плоды восприимчивы к антракнозу, который может вызывать темные, ямчатые поражения. Большинство этих поражений представляют собой либо небольшие круглые пятна, либо большие пятна с четко очерченными границами. Зараженная земляника садовая также может развить вторичный рост плесени, что может еще больше усугубить ситуацию (Feliziani, Romanazzi, 2016). Во влажной среде могут образовываться розовые или оранжевые споровые массы, а поражения могут быть менее ямчатыми и коричневыми. Основными факторами, влияющими на вспышку антракноза земляники садовой, являются неправильные методы обработки, недостаточный контроль температуры и влажности во время хранения и транспортировки, а также условия длительного хранения. Другие факторы, которые служат причиной появления грибка, включают в себя повреждения насекомыми или механические повреждения. Внедрение соответствующих стратегий борьбы с болезнями является эффективным способом уменьшения потерь земляники садовой после сбора урожая, вызванного антракнозом. Поэтому с плодами следует обращаться осторожно, чтобы не повредить их. Одним из важнейших шагов в предотвращении распространения болезни является удаление и утилизация зараженных или гнилых плодов (Haile et al., 2019). Кроме того, для снижения заражения и распространения рекомендуется дезинфекция или санитарная обработка. Другие способы борьбы с болезнями включают соблюдение температурных режимов, обработку дезинфицирующими средствами и комплексное управление болезнями.

2.4 Экономические последствия грибковых патогенов

Вышеуказанные грибковые патогены оказывают существенное влияние на экономику сельскохозяйственных предприятий по выращиванию земляники садовой. Хотя каждый вид вносит значительный вклад в потери, *B. cinerea* является наиболее разрушительным

(Petrasch et al., 2019). *B. cinerea* – это патоген, известный своей способностью развивать устойчивость к фунгицидам, с потенциалом уничтожить до 50% плантаций земляники садовой, что приводит к значительным экономическим потерям, таким как снижение рыночной стоимости и увеличение расходов на фунгициды (Petrasch et al., 2019). Учитывая значительные расходы, связанные с борьбой с серой гнилью, производители должны применять эффективные способы борьбы с заболеваниями. Инвестиции в фунгициды, тщательные послеуборочные процедуры и устойчивые сорта имеют важное значение для обеспечения постоянного снабжения высококачественной земляникой при минимизации потерь, вызванных этим заболеванием (Vischetti et al., 2023). Вид *Rhizopus*, особенно *R. stolonifer*, также является одним из основных патогенов, ответственных за снижение качества земляники садовой после сбора урожая, что приводит к значительным потерям при хранении и транспортировке (Vischetti et al., 2023). С экономической точки зрения *R. stolonifer* представляет угрозу, поскольку он вызывает мягкую гниль, особенно в жарких и влажных условиях. Во время хранения и транспортировки этот патоген может быстро распространяться, что приводит к значительной порче и представляет серьезную проблему для сельхозпроизводителя. Хотя он не так распространен, как *Botrytis*, он все же наносит существенный ущерб из-за снижения товарного вида плодов и необходимости соблюдения строгих условий хранения. Для борьбы с *R. stolonifer* и сохранения качества земляники садовой применяются такие методы, как немедленное охлаждение после сбора урожая, поддержание низких температур хранения и минимизация повреждений плодов (Liu et al., 2024; Rizky et al., 2024). *Mucor spp.*, хотя и менее распространен, также представляет собой проблему для производства земляники садовой, особенно на послеуборочных этапах, поскольку он приводит к гниению плодов и значительным экономическим потерям (Xu et al., 2024). При определенных условиях окружающей среды развитие данного вида грибка может опережать другие виды, включая *B. cinerea*, вызывая послеуборочную порчу земляники садовой и, как следствие, снижение рыночной стоимости, увеличение отходов и дополнительные затраты для производителей. Для эффективного снижения поражения *Mucor* важно обеспечить адекватную вентиляцию и контроль температуры во время хранения (Zhang et al., 2023). *Colletotrichum spp.* вызывает антракноз, определяемый как плодовая гниль (темные поражения), которая может значительно снизить урожайность и качество земляники садовой как в поле, так и во время хранения после сбора урожая (Xu et al., 2024; Ciofini et al., 2022). Использование сортов, устойчивых к *Colletotrichum spp.*, является важной стратегией для борьбы с этим заболеванием и снижения экономического ущерба, которые включают расходы, связанные с применением фунгицидов, и возможную отбраковку зараженных партий в торговой сети и покупателями.

3 Методы послеуборочной обработки плодов земляники садовой

3.1 Термическая обработка

Термическая обработка использовалась как традиционный метод послеуборочной обработки для регулирования физиологических процессов в плодах, контроля заболеваний и продления срока годности (Sivakumar, Fallik, 2013). Умеренная обработка при нелетальных температурах сдерживает созревание и снижает микробиологическую обсемененность, не оказывая значительного влияния на качество плодов (Sivakumar, Fallik, 2013). Тепловая обработка может применяться путем воздействия на плоды земляники горячей воды или воздуха с температурой в диапазоне 40...50°C в течение нескольких часов. Например, обработка воздухом при температуре 45°C в течение 3 часов может задержать размягчение плодов и уменьшить заболевания земляники садовой (Jin et al., 2016). В качестве

альтернативы тепловая обработка также может применяться путем простого хранения плодов при повышенных температурных условиях, таких как 37°C, в течение нескольких недель (Lv et al., 2022). Данный метод обработки оказывает влияние на выработку этилена и ферментов, связанных с деградацией клеточной стенки, посредством изменения уровней транскрипции и трансляции (Lv et al., 2022). Во время теплового стресса активность большинства генов, связанных с созреванием плодов, снижается, тогда как белки теплового шока (HSP) могут быть увеличены. HSP могут обладать способностью индуцировать активные формы кислорода (АФК), а затем продуцировать ферменты, инактивирующие радикалы, такие как супероксиддисмутаза, пероксидаза и каталаза. АФК, образующиеся таким образом, могут эффективно действовать как сигнальные молекулы для активации реакций на стресс и защитных путей. Это явление может эффективно способствовать снижению заболеваемости и продлению срока годности плодов земляники (Lv et al., 2022).

В процессе обработки горячей водой земляника «Соната» замачивалась в горячей воде при температуре 45°C в течение 5 минут (Caleb et al., 2016). Обработка предотвратила гниение земляники садовой, и качество обработанных плодов было лучше, чем в контрольной группе, даже через 12 дней. Авторы исследования установили, что период обработки, превышающий 5 минут, оказывает негативное влияние на качество ягод (Caleb et al., 2016). Однако оптимальная температура и период обработки сильно различаются в зависимости от типа плодов и заболеваемости, что может эффективно задержать созревание плодов и прогрессирование гниения. Исследования показали, что термообработанная земляника садовая сохраняет общий внешний вид с более низкой утечкой калия, скоростью дыхания и повреждением тканей (Vicente et al., 2006; Salazar-Orbea et al., 2021). Одним из способов тепловой обработки – обработка с использованием метода теплового шока, который включает в себя воздействие высоких температур на землянику садовую в течение короткого периода времени, а затем быстрое ее охлаждение. Langer S.E. et al. (2018) применили тепловую обработку к спелой землянике садовой, подвергая ее воздействию температуры 45°C в течение 3 часов в духовке с горячим воздухом, после чего плоды хранили при более низкой температуре в течение следующих 10 дней (8 дней при 4°C и 2 дня при 20°C). Тепловой стресс повлиял на экспрессию важных генов, связанных с метаболизмом клеточной стенки в плодах земляники садовой. Гены, связанные с размягчением плодов, были подавлены, тогда как гены, участвующие в укреплении клеточной стенки, были активированы. Содержание пектина, целлюлозы и гемицеллюлозы в клеточных стенках обработанных плодов было выше, что указывает на улучшение их твердости после термической обработки по сравнению с контрольной группой (Langer et al., 2018). Недавно та же исследовательская группа сообщила, что этот процесс тепловой обработки может также повышать экспрессию генов, ответственных за активность ферментов пероксидазы, полифенолоксидазы, хитиназы и β -1,3-глюканазы, которые отвечают за защитный механизм от грибковых патогенов, таких как *B. cinerea* (Langer et al., 2024). Таким образом, результаты показывают, что тепловая обработка после сбора урожая при температуре около 45°C в течение 3 часов воздухом и 5 минут водой может играть решающую роль в регулировании биохимических путей, связанных с размягчением клеточной стенки и антимикробным защитным механизмом в плодах земляники садовой, которые могут быть дополнительно усилены после теплового шока и быстрого охлаждения. Обработка способствует увеличению срока хранения плодов садовой земляники во время хранения и транспортировки. Однако этот метод обработки можно применять только на самом начальном этапе процесса хранения и цепочки поставок, и такие параметры, как время воздействия, должны тщательно контролироваться, поскольку длительное воздействие может привести к пагубному влиянию на качество плодов.

3.2 Холодная плазменная обработка

В последнее время нетермические методы обработки, такие как низкотемпературная плазменная обработка или холодная плазменная обработка, набирают популярность для продления срока годности пищевых продуктов. Этот метод включает использование высокоионизированного газа, называемого плазмой (Бурак и др., 2024; Alaguthevar et al., 2024). В данном процессе один газ или комбинация газов ионизируется с помощью сильного электрического поля, где сила электрического поля превышает потенциал ионизации газов (Alaguthevar et al., 2024; Olatunde et al., 2021). Обычно называемая четвертым состоянием вещества, плазма состоит из свободных электронов, фотонов, ионов, реактивных атомов и нейтральных молекул в метастабильном состоянии с почти нулевым чистым зарядом и поддерживающая низкую температуру, которая примерно равна температуре окружающей среды (Бурак, 2025; Pan et al., 2019). Использование холодной плазмы особенно эффективно для обработки термочувствительных пищевых продуктов, поскольку она оказывает минимальное влияние на качественные характеристики пищевых продуктов по сравнению с другими методами обработки (Бурак и др., 2024; Mehta et al., 2019). Другим преимуществом этого метода является возможность стерилизации в упаковке, поскольку можно генерировать реактивные виды непосредственно внутри герметичной упаковки с помощью обработки холодной плазмой без последующего загрязнения (Pan et al., 2019). Данный метод позволяет продлить срок годности свежего растительного сырья, инактивируя микроорганизмы, вызывающие порчу, и разрушая токсины, красители и пестициды, присутствующие в сырье (Бурак и др., 2024; Pan et al., 2019). Хотя использование холодной плазмы для дезактивации и консервирования плодов и овощей началось менее десяти лет назад, несколько исследователей использовали эту относительно новую технологию для обработки земляники садовой после сбора урожая. В попытке продемонстрировать способность генерировать холодную плазму в герметичной упаковке плодов земляники N.N. Misra et al. (2014) использовали обработку холодной плазмой в течение 5 минут, что способствовало снижению количества поверхностных дрожжей и плесени на плодах на 3,3 логарифмических цикла, не влияя на скорость дыхания, цвет и твердость плодов. D. Zyuzina et al. (2020) в своем исследовании также продемонстрировали способность обработки холодной плазмой значительно уменьшать популяции инокулированных микроорганизмов на землянике садовой. Авторы использовали обработку холодной плазмой (100 кВ) в течение 2,5 минут и установили снижение популяции *Listeria innocua*, инокулированной на землянике садовой, на 3,8 логарифма КОЕ/мл без какой-либо существенной разницы в их качественных характеристиках, таких как цвет, твердость, pH или общее количество растворимых сухих веществ. Помимо газовой плазмы, метод непрямо́й воздушной плазмы, который включает в себя применение струи атмосферной воздушной плазмы в воде, приводит к образованию подкисленного раствора, содержащего оксид азота в ионной форме (т. е. NO_3^- и NO_2^-). Этот водный раствор называется плазменно-активированной водой (PAW) и, как известно, обладает широким спектром антимикробных свойств (Pan et al., 2019). PAW также была изучена для послеуборочной обработки и сохранения земляники садовой и других свежих продуктов. R. Ma et al. (2015) продемонстрировали способность обработки PAW инактивировать *Staphylococcus aureus*, инокулированный на поверхности земляники садовой. Авторы приготовили PAW путем активации дистиллированной воды с использованием 20-минутной плазменной обработки, которая затем использовалась для обработки инокулированной земляники в течение 15 минут. Установлено, что в обработанных плодах достигнуто снижение популяции бактерий примерно на 3,5 log после 4-дневного периода хранения, что указывает на способность PAW улучшать срок хранения

садовой земляники после сбора урожая. Более того, в отличие от контрольной группы, на обработанных плодах не наблюдалось видимого роста плесени даже после 4-дневного периода хранения.

В целом, за последние несколько лет нетермическая обработка холодной плазмой приобрела популярность для послеуборочной обработки земляники садовой и других свежих плодов и овощей. Метод обработки не оказывает отрицательного влияния на органолептические показатели и пищевую ценность плодов земляники. Вместе с тем недавние исследования показали ограничения этого метода, по причине окисления липидов и белков (Olatunde et al., 2021). Хотя такая проблема не связана с продуктами с низким содержанием белков и липидов, такими как земляника, но необходимо проводить дальнейшие исследования о влиянии обработки холодной плазмой на общую пищевую ценность плодов.

3.3 Метод облучения

Облучение пищевых продуктов является одним из перспективных методов послеуборочной консервации фруктов с использованием ионизирующего излучения, такого как рентгеновские лучи, гамма-лучи, электронные пучки и УФ-С (Barkaoui et al., 2021). Дезинфекция пищевых продуктов с помощью облучения считается научным методом и используется в более чем 60 странах мира. Он может эффективно уничтожать микробные патогены, насекомых и паразитов, повышая безопасность пищевых продуктов и продлевая срок их хранения (Бурак, 2025; Barkaoui et al., 2021). Установлено, что среди методов облучения γ -облучение обладает высокой проникающей способностью, поэтому данный вид облучения приемлем не только для целей упаковки, но и может использоваться для продления срока годности пищевых продуктов (Yoon et al., 2020a). Сообщалось, что качественные характеристики, такие как содержание фенолов и антоцианов, улучшаются при обработке садовой земляники γ -облучением (Maraei, Elsaywy, 2017). Однако радиоактивные отходы, образующиеся при γ -облучении, ограничивают его применение (Rather et al., 2019). Эти ограничения можно преодолеть, используя облучение электронным пучком, которое не основано на радиоактивных исходных материалах и производится специальными приборами, работающими на электроэнергии (Pillai, Shayanfar, 2017). Исследования показали, что обработка электронным пучком улучшает антиоксидантную активность и содержание фенолов в землянике садовой после 14 дней хранения (Barkaoui et al., 2020). В другом исследовании установлено, что облучение электронным пучком в дозе 1 кГр может уменьшить микробные популяции и улучшить твердость, пищевые и органолептические свойства обработанной земляники (Yoon et al., 2020a). Также сообщалось о сокращении популяций бактерий и грибов при использовании 2 кГр электронного пучка. Содержание биологически активных веществ (БАВ) сохранялось даже после 7 дней хранения, что показывает потенциальную возможность применений данного метода при хранении земляники садовой после сбора урожая (Barkaoui et al., 2021). Вместе с тем необходимо отметить высокую стоимость установки для электронного пучка, что ограничивает применение этой технологии для сохранения свежей продукции.

Облучение УФ-С использовалось для повышения срока годности фруктов и овощей. Оно обладает огромным потенциалом для предотвращения созревания фруктов путем задержки их размягчения. Результаты многих исследований показали, что после воздействия УФ-С-излучения наблюдалось снижение транскрипции генов, участвующих в деградации клеточной стенки (Kan et al., 2021). Кроме того, было установлено, что повторная обработка земляники садовой низким УФ-С-излучением (4 кДж/м²) эффективна для снижения роста дрожжей и плесени с улучшением органолептических свойств (Barkaoui et al., 2021). Помимо

этих исследований, некоторые исследования показали, что видимое синее световое излучение оказывает положительное влияние на синтез метаболитов, связанных с качеством плодов и устойчивостью к болезням во время хранения после сбора урожая. X. Xu et al. (2024) обрабатывали землянику садовую синим светом с длиной волны 470 нм и интенсивностью 40 мкмоль/м²/с в течение 12 дней. Ученые наблюдали, что световая обработка усиливала активность ферментов, связанных с биосинтезом антоцианов, что приводило к увеличению общего содержания антоцианов в облученной землянике садовой более чем в 1,5 раза. С другой стороны, другие исследовательские группы сообщали об отрицательных последствиях белого светодиодного света на качество земляники (Hoffmann et al., 2022). По сравнению с плодами, хранящимися в темноте, воздействие белого светодиодного света в бытовых холодильниках вызывает повышенную скорость транспирации, более высокую деградацию аскорбиновой кислоты и нестабильность общего содержания фенолов в хранящейся землянике (Hoffmann et al., 2022). Однако основными ограничениями, связанными с использованием излучений, отличных от видимого света, являются высокая стоимость и негативное восприятие таких продуктов потребителями (Бурак, 2025).

В таблице 1 представлены основные результаты научных исследований с использованием обработки земляники садовой облучением и химической обработки.

Таблица 1 – Результаты научных исследований обработки садовой земляники облучением и химической обработки

Источник воздействия	Параметры обработки	Эффект	Физико-химические показатели	Источник
1	2	3	4	5
Облучение				
УФ-С	4,0 кДж/м ²	Снижение роста микробов	Улучшает антиоксидантную активность и сохраняет качество плодов, препятствует увеличению кислотности и горечи	Li et al. (2019)
Электронный луч	≤1 кГр	Снижено количество аэробных бактерий и дрожжей/плесени	Замедление роста содержания антоцианов, фенолов и антиоксидантной активности.	Yoon et al. (2020b)
Электронный луч	2кГр /хранение при 4°C	Снижение мезофильных микроорганизмов на 3 log КОЕ/г)	Сохранение общего содержания растворимых сухих веществ в течение 14 дней, улучшает физико-химические и сенсорные свойства до 7 дней	Barkaoui et al. (2021)
Рентгеновское излучение	≤1 кГр	Снижение количества дрожжей и плесени на 2...3 логарифма КОЕ/г	Улучшение сенсорных параметров и общего содержания фенолов, а также замедление изменения цвета	Barkaoui et al. (2021)
Рибофлавин	40 и 80 мкМ		Ингибирует перекисное окисление мембран и снижает ферментативную (пероксидазную, полифенолоксидазную) активность и содержание H ₂ O ₂	Zhang et al. (2023)
Комбинация салициловой кислоты и синего света	2 мМ, холодное хранение		Замедлил потерю веса, предотвратил гниение, улучшил содержание растворимого белка и яркость кожуры фруктов.	Zhang et al. (2022)

продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Химическая обработка				
Ресвератрол	100 мкМ		Улучшение питательных качеств и антиоксидантных свойств, а также повышение твердости, общего содержания растворимых сухих веществ и фенолов.	Fan et al. (2022)
Мелатонин	100 мкМ в течение 15 мин	Снижение заражения <i>Botrytis cinerea</i>	Сохранение веса плода, его твердости, цвета и общего содержания растворимых сухих веществ.	Promyou et al. (2023)
Глюкозооксидаза	10 г/л	Замедление роста путем изменения морфологии мицелиальных мембран <i>B. cinerea</i> и уничтожения спор	Уменьшение гниения земляники в начале хранения (второй день)	Li et al. (2019)
Хлорид кальция и нанохитозан	3% CaCl ₂ и 0,2% нанохитозана		Снижение потери веса и сохранение антоцианов, антиоксидантной активности и содержания L-аскорбиновой кислоты в течение 15 дней хранения.	Nguyen et al. (2020)
Метилжасмонат	10 мкМ в течение 16 ч при 20°C, хранение при 3 ± 0,5°C в течение 12 дней		Увеличение содержания фенолов и антоцианов	Vaezi et al. (2022)

3.4 Химическая обработка

Дезинфекция фруктов после сбора урожая с использованием химикатов очень важна для снижения микробной нагрузки. Долгое время хлор был одним из широко используемых дезинфицирующих средств из-за его эффективности инактивации микроорганизмов. Однако многие страны ЕС ограничили использование хлора в качестве дезинфицирующего средства (Marín et al., 2020). Во многих исследованиях сообщалось, что сероводород (H₂S) может поглощать ROS посредством активации антиоксидантных ферментов и обеспечивать устойчивость к холоду посредством индукции синтеза пролина и полифенолов. H₂S – это газообразная сигнальная молекула, участвующая в регуляции роста растений, защитных реакциях, созревании после сбора урожая и увядании (Siddiqui et al., 2023). M. Sun et al. (2023) исследовали роль H₂S в задержке процесса созревания земляники садовой. Они обработали плоды различными концентрациями NaHS (донор H₂S), хранили ее в коробке при 22°C и относительной влажности 70% и изучали изменения качества в течение 48 часов. Авторы установили, что обработка 1,5 M NaHS задержала созревание белой земляники после сбора урожая и снизила скорость ее дыхания, тем самым подавив выработку этилена. Кроме того, внешний вид и питательные качества клубники сохранились даже спустя 48 часов, в отличие от контрольной группы (Sun et al., 2023).

Озон – еще один газ, который используется для послеуборочной обработки плодов и овощей. Помимо газообразной формы, его также можно применять в жидкой форме для пищевых продуктов, и он считается устойчивым и экономичным (Бурак, 2022). Это трехатомный кислород, который естественным образом встречается в атмосфере в очень низких концентрациях в виде газа и считается общепризнанным безопасным. Он не только

более сильный окислитель, чем хлор, но и мощное дезинфицирующее средство, которое легко растворяется в воде. Он хорошо известен своим антибактериальным потенциалом против бактерий, вирусов, плесени, дрожжей, паразитов и грибов (Бурак, 2022). Мощная антибактериальная активность озона возникает в результате реакции с окисляемыми клеточными компонентами, такими как фенольные кольца, сульфгидрильные группы и двойные связи, что в итоге может привести к повреждению клеток и их гибели (Бурак, 2022). Исследования показали, что озон в соответствующих концентрациях может улучшить антиоксидантную активность плодов после сбора урожая. С. Chen et al. (2019) сообщили, что земляника, обработанная озоном в концентрации 5 ppm, улучшила накопление общих фенолов, флавоноидов и антоцианов. Даже после 21 дня хранения уровень экспрессии белков, связанных с метаболизмом фенилпропаноидов, был высоким, что было подтверждено с помощью анализа транскриптома и протеома. В другом исследовании сообщалось, что обработка земляники озоном в течение 5 минут снизила заболеваемость плесенью примерно на 22...25% (Contigiani et al., 2018). Они также наблюдали снижение потери веса и влаги обработанной земляники садовой при хранении при 5°C. Эта обработка также привела к утолщению кутикулы земляники садовой.

D. Li et al. (2018) изучали влияние обработки парами этанола на свежесобранную землянику. Они обрабатывали плоды земляники различными концентрациями паров этанола перед ее нарезкой и хранением при температуре 4°C в течение 1 недели. Авторы установили, что вес и упругость плодов, обработанных 4 мл/кг паров этанола, показали незначительные изменения в течение периода хранения по сравнению с необработанной группой. Более того, обработка улучшила содержание общих фенолов, флавоноидов и антоцианов, снизила микробное загрязнение и улучшила антиоксидантную активность клубники (Li et al., 2018).

1-Метилциклопропен (1-МЦП) – еще одно химическое вещество, которое существует в газообразной форме при температуре окружающей среды и атмосферном давлении (Langer et al., 2022). Он широко используется в качестве ингибитора этилена и считается безопасным для здоровья человека. 1-МЦП работает, блокируя рецептор этилена в плодах и предотвращая восприятие газообразного гормона тканями растений (Langer et al., 2022). Хотя было проведено множество исследований его роли в задержке созревания климактерических плодов, исследования его влияния на неклимактерические плоды относительно немногочисленны (Langer et al., 2022). Тем не менее, различные исследователи изучали влияние обработки 1-МЦП на срок хранения садовой земляники после сбора урожая. Chairprasart P. (2016) обрабатывал свежую землянику садовую различными концентрациями растворов 1-МЦП от 0 до 1 мкл/л в течение 12 ч при 25°C, а затем хранил ее при температуре 5°C и относительной влажности 95%. Он обнаружил, что плоды, обработанные 1 мкл/л 1-МЦП, сохраняли цвет и упругость даже после 12 дней хранения. Более того, скорость распада была ниже по сравнению с контрольной группой. S.E. Langer et al. (2022) обрабатывали свежую клубнику концентрацией 1 мкл/л 1-МЦП в течение 10 ч при 22°C, а затем хранили ее при 4°C в течение 10 дней. Авторы установили, что значения pH, титруемой кислотности, общего содержания сахаров и фенольных соединений сохранялись в течение всего периода хранения. Более того, как и в других исследованиях, происходило снижение твердости и увеличение содержания антоцианов в землянике. Более того, обработанные плоды были более устойчивы к росту грибковых патогенов *B. cinerea* и *R. stolonifer* (Langer et al., 2022).

Обработка некоторыми ионами металлов также оказалась эффективной для послеуборочной сохранности садовой земляники. Обработка кальцием является одним из важных способов улучшения защитного механизма и продления срока годности плодов

земляники, зараженных патогенами. Кальций может взаимодействовать с пектиновой кислотой в клеточной стенке плода, и эффективно поддерживать структуру клеточной стенки. Это явление может эффективно задерживать процесс созревания и снижения качества (Nguyen et al., 2020). Некоторые исследования показали, что обработка кальцием может увеличить содержание кальция в плодах, улучшая твердость, не влияя на органолептические качества (Ranjbar et al., 2020). Например, плоды земляники садовой, обработанные 10 г/л раствора хлорида кальция, повысили экспрессию генов и активность ферментов, связанных с защитой плода (хитиназы, пероксидазы, полифенолоксидазы и β -1,3-глюканазы), и ограничили распад, связанный с инфекцией *B. cinerea* (Langer et al., 2019). Еще одно соединение, представляющее интерес, которое использовалось для послеуборочной консервации земляники садовой – мелатонин (*N*-ацетил-5-метокситриптамиин). Это нейrogормон животных, который играет важную роль в регуляции нескольких важных функций у млекопитающих, включая циркадные ритмы, сон, температуру тела, потребление пищи, сексуальное поведение и иммунную систему (Okatan et al., 2022). Также исследования выявили его широкое присутствие и в различных видах растений. Мелатонин может регулировать рост растений и играет роль в устойчивости растений к абиотическим стрессовым условиям, что связано с его антиоксидантными свойствами (Okatan et al., 2022). Исследователи также изучали влияние обработки мелатонином на рост различных сельскохозяйственных культур, включая садовую землянику. Однако сообщений о влиянии обработки мелатонином на послеуборочное качество свежей продукции мало. S. Promyou et al. (2023) исследовали влияние экзогенного мелатонина на систему антиоксидантной защиты и качество садовой земляники после сбора урожая. Они погружали плоды в раствор мелатонина концентрацией 100 мкМ на 15 минут и хранили их в условиях окружающей среды в пластиковых лотках. Обработанные плоды сохраняли массу, твердость, цвет, титруемую кислотность и общее содержание растворимых сухих веществ. Более того, популяция искусственно инокулированных *B. cinerea* на обработанных мелатонином плодах сокращалась в течение периода хранения в 6 дней. L. Pang et al. (2020) сообщили, что мелатонин положительно регулирует путь фенилаланина, ответственный за биосинтез антоцианов, и, следовательно, усиливает накопление антоциановых пигментов в землянике садовой, тем самым сохраняя ее яркий красный цвет. В другом исследовании S. Mansouri et al. (2023) сообщили, что экзогенная обработка мелатонином приводит к подавлению эндогенного накопления абсцизовой кислоты и сигнализации H_2O_2 , тем самым задерживая процесс созревания садовой земляники.

В целом, обработка различными химическими агентами, включая газы, ионы металлов и гормоны, оказалась эффективной для сохранения качества садовой земляники после сбора урожая и увеличения срока ее хранения. Результаты отдельных научных исследований по химической обработке клубники обобщены в таблице 1.

3.5 Другие методы обработки

Биологические агенты эффективны в снижении порчи, связанной с микроорганизмами, и предпочтительнее химических дезинфицирующих средств. В нескольких недавних исследованиях сообщалось о влиянии биологических агентов на хранение земляники садовой после сбора урожая. Было обнаружено, что микробный антагонист *Debaryomyces hansenii* эффективен в снижении количества поверхностных микроорганизмов на землянике садовой. Обработка не только подавляла естественное гниение плодов, но и поддерживала более высокое содержание аскорбиновой кислоты, чем в контрольных образцах (Zhao et al., 2023). Связанные исследования показали, что *Aureobasidium pullulans* (AP-SLU6) эффективно подавляет серую плесень. После применения биологических агентов контроля установлено увеличение производства фруктов на 53% (Iqbal et al., 2023). Аналогичным

образом, обработка водными дрожжами, такими как *Yarrowia lipolytica* и *D. hansenii*, замедляет рост микробов и порчу плодов (Hosseini et al., 2024).

DENBA+ – это революционная инновация, которая использует электромагнитные волны для резонанса с молекулами воды в пище для сохранения свежести без прямого физического контакта. DENBA+ – это экологически чистый подход, но использование этой технологии все еще находится на новаторских стадиях. В этой технологии молекулы воды активируются для поддержания органолептических качеств пищи без повреждения клеточных стенок. N. Yang et al. (2023) сообщили, что у садовой земляники, обработанной DENBA+, снизились индекс порчи и потеря массы, сохранились твердость и значение pH по сравнению с контрольной группой. Также установлено увеличение растворимых сухих веществ, общего количества сахаров, содержания фенолов и антоцианов.

Хотя в послеуборочной обработке для сохранения качества садовой земляники были достигнуты значительные успехи, ее относительно короткий срок хранения по-прежнему является серьезной проблемой из-за ее скоропортящейся природы. Поэтому необходимо поддерживать надлежащие условия хранения, чтобы предотвратить потерю вкуса, текстуры, питательных веществ и порчу. Такие факторы, как температура, влажность и упаковка, играют важную роль в сохранении свежести земляники садовой. С целью замедления порчи и роста плесени важно найти баланс между охлаждением и предотвращением накопления влаги.

Заключение

Современные способы обработки земляники садовой после сбора урожая играют важную роль в продлении срока годности и сохранении ее качества. Изучение биохимии роста и созревания, механизмах размягчения плодов земляники дает необходимые сведения о роли важных факторов, включая газовый состав атмосферы, этилен и влажность, что позволяет глубже понять сущность идущих процессов в плодах после сбора урожая. Порча плодов земляники садовой после сбора урожая остается серьезной проблемой, в основном из-за заражения грибами, что оказывает значительное негативное влияние на сроки хранения. Плоды земляники садовой, ввиду высокого содержания влаги и питательных веществ является объектом микробной обсеменённости и роста грибов в процессе хранения на складах и реализации в торговой сети. Холодильное хранение является наиболее применяемым методом хранения плодов земляники после сбора урожая по всей цепочке поставок, поскольку данный метод позволяет увеличить срок хранения практически в два раза. Помимо холодильного хранения были тщательно изучены и индивидуально применены методы обработки после сбора урожая, такие как, термическая обработка, облучение, холодная плазма и химическая обработка. Данные методы обработки дают возможность предотвратить заражение грибами, активируют систему метаболической защиты и улучшают структурную целостность плодов земляники садовой, тем самым сохраняя их качество с течением времени, особенно при холодильном хранении. Сохранение плодов земляники с использованием радиационной, световой или тепловой обработки может предотвратить рост вредных микроорганизмов и повысить устойчивость к болезням. Однако эти методы могут отрицательно повлиять на питательную ценность, цвет и вкус земляники с течением времени. Перспективный подход к решению этой проблемы включает в себя синергетическое сочетание различных методов для усиления их эффективности. В целом, будущие исследования должны быть направлены на изучение и решение обсуждаемых проблем, с которыми сталкивается сельскохозяйственный сектор, разработку новых устойчивых решений, которые потенциально могут сохранить плоды после сбора урожая, будучи безопасными для людей и окружающей среды.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Акимов М. Ю., Лукьянчук И.В., Жбанова Е.В., Лыжин А.С. Плоды земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) как ценный источник пищевых и биологически активных веществ (обзор) // Химия растительного сырья. 2020. 1. 5-18. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020015511>
2. Бурак Л.Ч. Использование современных технологий обработки для увеличения срока хранения фруктов и овощей. Обзор предметного поля // Ползуновский вестник. 2024а. 1. 99-119. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.013>
3. Бурак Л.Ч. Ограничения и возможности современных технологий обеспечению микробиологической безопасности пищевых продуктов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2024б. 2-3. 6-13. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2024.2-3.1>
4. Бурак Л.Ч. Влияние современных способов обработки и стерилизации на качество плодовоовощного сырья и соковой продукции. М.: ИНФРА-М, 2025. 236. <https://doi.org/10.12737/0.12737/2154991>
5. Бурак Л.Ч., Сапач А.Н., Завалей А.П. Влияние обработки холодной плазмой на качество и пищевую ценность растительного сырья. Обзор предметного поля // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2024. 14, 2. 173-183 <https://doi.org/10.21285/achb.914>
6. Бурак Л.Ч. Использование озоновой технологии в пищевой промышленности. Минск: СтройМедиаПроект, 2022. 144. <https://doi.org/10.12731/978-985-7172-84-9>
7. Панфилова О.Ф., Пильщикова Н.В. Физиологические аспекты созревания и продления срока хранения сочных плодов // Известия ТСХА. 2023. 4, 75-94 <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-4-75-94>
8. Aaby K., Mazur S., Nes A., Skrede G. Phenolic compounds in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) fruits: Composition in 27 cultivars and changes during ripening // Food Chemistry. 2012. 132. 8697. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2011.10.037>
9. Alaguthevar R., Packialakshmi J.S., Murugesan B., Rhim J.W., Thiyagamoorthy U. In-package cold plasma treatment to extend the shelf life of food // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2024. 23, 2. e13318. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13318>
10. Baicu A.A., Popa M.E. Trends in prolonging the post-harvest life of strawberries – A review // The Annals of the University Dunarea De Jos of Galati. Fascicle VI – Food Technology. 2018. 42. 9-16.
11. Barkaoui S., Mankai M., Miloud N.B., Kraïem M., Madureira J., Verde S.C., Boudhrioua N. E-beam irradiation of strawberries: Investigation of microbiological, physicochemical, sensory acceptance properties and bioactive content // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2021. 7. 102769. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2021.102769>
12. Bautista-Baños S., Bosquez-Molina E., Barrera-Necha L.L. Rhizopus stolonifer (Soft Rot) // Postharvest decay: Control strategies. Academic Press. 2014. 1-44 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411552-1.00001-6>
13. Caleb O.J., Wegner G., Rolleczeck C., Herppich W.B., Geyer M., Mahajan P.V. Hot water dipping: Impact on postharvest quality, individual sugars, and bioactive compounds during storage of 'Sonata' strawberry // Scientia Horticulturae. 2016. 210. 150-157. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.07.021>
14. Ciofini A., Negrini F., Baroncelli R., Baraldi E. Management of post-harvest anthracnose: Current approaches and future perspectives // Plants. 2022. 11, 14. 1856. <https://doi.org/10.3390/PLANTS11141856>

15. Chaiprasart P. Effect of 1-methylcyclopropene on postharvest qualities of “Parajchatan #72” strawberry fruit // Acta Horticulturae. 2016. 1117. 227-230. <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2016.1117.36>
16. Chen C., Zhang H., Dong C., Ji H., Zhang X., Li L., Ban Z., Zhang N., Xue W. Effect of ozone treatment on the phenylpropanoid biosynthesis of postharvest strawberries // RSC Advances. 2019. 9, 44. 25429-25438. <https://doi.org/10.1039/C9RA03988K>
17. Contigiani E.V., Jaramillo-Sánchez G., Castro M.A., Gómez P.L., Alzamora S.M. Postharvest quality of strawberry fruit (*Fragaria* × *ananassa* Duch. cv. Albion) as affected by ozone washing: Fungal spoilage, mechanical properties, and structure // Food and Bioprocess Technology. 2018. 11, 9. 1639-1650. <https://doi.org/10.1007/S11947-018-2127-0>
18. Dzhanfezova T., Barba-Espín G., Müller R., Joernsgaard B., Hegelund J.N., Madsen B., Larsen D.H., Martínez Vega M., Toldam-Andersen T.B. Anthocyanin profile, antioxidant activity and total phenolic content of a strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) genetic resource collection // Food Bioscience. 2020. 36. 100620. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2020.100620>
19. El Hadi M., Zhang F.J., Wu F.F., Zhou C.H., Tao J. Advances in fruit aroma volatile research // Molecules. 2013. 18, 13. 82008229. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES18078200>
20. El-Araby A., Azzouzi A., Ayam I.M., Samouh K.F., Errachidi F. Survey on technical management of strawberries in Morocco and evaluation of their post-harvest microbial load // Frontiers in Microbiology. 2023. 13. 1115340. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2022.1115340>
21. El-Ramady H.R., Domokos-Szabolcsy É., Abdalla N.A., Taha H.S., Fári M. Postharvest Management of Fruits and Vegetables Storage. // Sustainable Agriculture Reviews / Lichtfouse E. Ed.. 2015. 15. Springer https://doi.org/10.1007/978-3-319-09132-7_2
22. Fan Z., Hasing T., Johnson T.S., Garner D.M., Schwieterman M.L., Barbey C.R., Colquhoun T.A., Sims C.A., Resende M.F.R., Whitaker V.M. Strawberry sweetness and consumer preference are enhanced by specific volatile compounds // Horticulture Research. 2021. 8, 1. 66. <https://doi.org/10.1038/S41438-021-00502-5>
23. Fan T.T., Zhang J., Cao J.X., Xia M.H., Wang T., Cao S. Effects of resveratrol treatment on quality and antioxidant properties of postharvest strawberry fruit // Journal of Food Biochemistry. 2022. 46, 8. 14176. <https://doi.org/10.1111/JFBC.14176>
24. Feliziani E., Romanazzi G. Postharvest decay of strawberry fruit: Etiology, epidemiology, and disease management // Journal of Berry Research. 2016. 6. 47-63. <https://doi.org/10.3233/JBR-150113>
25. Gündüz K., Özbay H. The effects of genotype and altitude of the growing location on physical, chemical, and phytochemical properties of strawberry // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2018. 42. 145153. <https://doi.org/10.3906/tar-1706-65>
26. Haile Z.M., Nagpala-de Guzman E.G., Moretto M., Sonogo P., Engelen K., Zoli L., Moser C., Baraldi E. Transcriptome profiles of strawberry (*Fragaria vesca*) fruit interacting with *Botrytis cinerea* at different ripening stages // Frontiers in Plant Science. 2019. 10. 463178. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2019.01131>
27. Hoffmann T.G., Finardi S., de Oliveira J.T., Mueller E., Bertoli S.L., Meghwal M., de Souza C.K. Comparative study of white LED light and dark condition in domestic refrigerator on reducing postharvest strawberries waste // Journal on Food, Agriculture and Society. 2022. 10, 2. 1-10. <https://doi.org/10.17170/kobra-202204136007>
28. Hosseini A., Koushesh Saba M., Ashengroph M. Efficacy of aquatic yeasts to control gray mold decay and impacts on strawberry quality during cold storage and shelf life // Scientia Horticulturae. 2024. 323. 112503. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2023.112503>

29. Iqbal M., Andreasson E., Stenberg J.A. Biological control of strawberry diseases by *Aureobasidium pullulans* and sugar beet extract under field conditions // Journal of Plant Pathology. 2023. 105, 3. 933-941. <https://doi.org/10.1007/S42161-023-01408-Y>
30. Ikegaya A., Toyozumi T., Ohba S., Nakajima T., Kawata T., Ito S., Arai E. Effects of distribution of sugars and organic acids on the taste of strawberries // Food Science & Nutrition. 2019. 7. 24192426. <https://doi.org/10.1002/FSN3.1109>
31. Jin P., Zheng C., Huang Y.P., Wang X.L., Luo Z.S., Zheng Y.H. Hot air treatment activates defense responses and induces resistance against *Botrytis cinerea* in strawberry fruit // Journal of Integrative Agriculture. 2016. 15, 11. 2658-2665. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61387-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61387-4)
32. Kan J., Hui Y., Lin X., Liu Y., Jin C. Postharvest ultraviolet-C treatment of peach fruit: Changes in transcriptome profile focusing on genes involved in softening and senescence // Journal of Food Processing and Preservation. 2021. 45, 10. e15813. <https://doi.org/10.1111/JFPP.15813>
33. Kim J.O., Shin J.H., Gumilang A., Chung K., Choi K.Y., Kim K.S. Effectiveness of different classes of fungicides on *Botrytis cinerea* causing gray mold on fruit and vegetables // The Plant Pathology Journal. 2016. 32. 570574. <https://doi.org/10.5423/PPJ.NT.05.2016.0114>
34. Ktenioudaki A., O'donnell C.P., Do Nascimento Nunes M.C. Modeling the biochemical and sensory changes of strawberries during storage under diverse relative humidity conditions // Postharvest Biology and Technology. 2019. 154. 148-158. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2019.04.023>
35. Lafarga T., Colás-Medà P., Abadías M., Aguiló-Aguayo I., Bobo G., Viñas I. Strategies to reduce microbial risk and improve quality of fresh and processed strawberries: A review // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2019. 52. 197-212. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2018.12.012>
36. Langer S.E., Hirsch M., Burges P.L., Martínez G.A., Civello P.M., Marina M., Villarreal N.M. Biochemical and molecular traits underlying the quality preservation and defense enhancement by heat treatment in harvest-ripe strawberries // Scientia Horticulturae. 2024. 333. 113287. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2024.113287>
37. Langer S.E., Marina M., Burgos J.L., Martínez G.A., Civello P.M., Villarreal N.M. Calcium chloride treatment modifies cell wall metabolism and activates defense responses in strawberry fruit (*Fragaria × ananassa*, Duch.) // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2019. 99, 9. 4003-4010. <https://doi.org/10.1002/JSFA.9626>
38. Langer S.E., Marina M., Francese P., Civello P.M., Martínez G.A., Villarreal N.M. New insights into the cell wall preservation by 1-methylcyclopropene treatment in harvest-ripe strawberry fruit // Scientia Horticulturae. 2022. 299. 111032. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2022.111032>
39. Langer S.E., Oviedo N.C., Marina M., Burgos J.L., Martínez G.A., Civello P.M., Villarreal N.M. Effects of heat treatment on enzyme activity and expression of key genes controlling cell wall remodeling in strawberry fruit // Plant Physiology and Biochemistry. 2018. 130. 334-344. <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2018.07.015>
40. Li B.-J., Grierson D., Shi Y., Chen K.-S. Roles of abscisic acid in regulating ripening and quality of strawberry, a model non-climacteric fruit // Horticulture Research. 2022. 9. 089 <https://doi.org/10.1093%2Fhr%2Fuhac089>
41. Li D., Butot S., Zuber S., Uyttendaele M. Monitoring of foodborne viruses in berries and considerations on the use of RT-PCR methods in surveillance // Food Control. 2018. 89. 235-240. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2018.02.024>
42. Li W., Jiang Y., Hu C., Liu G., Li Y., Wang S. Identification, pathogenic mechanism and control of *Rhizopus oryzae* causing postharvest fruit rot in pumpkin // Postharvest Biology and Technology. 2023. 204. 112460. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2023.112460>

43. Li X., Xie X., Xing F., Xu L., Zhang J., Wang Z. Glucose oxidase as a control agent against the fungal pathogen *Botrytis cinerea* in postharvest strawberry // *Food Control*. 2019. 105. 277-284. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2019.05.037>
44. Liu Q., Chen Q., Liu H., Du Y., Jiao W., Sun F., Fu M. *Rhizopus stolonifer* and related control strategies in postharvest fruit: A review // *Heliyon*. 2024. 10, 8. e29522. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2024.E29522>
45. Lv J., Zheng T., Song Z., Pervaiz T., Dong T., Zhang Y., Jia H., Fang J. Strawberry proteome responses to controlled hot and cold stress partly mimic post-harvest storage temperature effects on fruit quality // *Frontiers in Nutrition*. 2022. 8. 812666. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2021.812666>
46. Ma R., Wang G., Tian Y., Wang K., Zhang J., Fang J. Non-thermal plasma-activated water inactivation of food-borne pathogen on fresh produce // *Journal of Hazardous Materials*. 2015. 300. 643-651. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2015.07.061>
47. Mansouri S., Koushesh Saba M., Sarikhani H. Exogenous melatonin delays strawberry fruit ripening by suppressing endogenous ABA signaling // *Scientific Reports*. 2023. 13, 1. 14209. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41311-1>
48. Maraei R.W., Elsayy K.M. Chemical quality and nutrient composition of strawberry fruits treated by γ -irradiation // *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 2017. 10, 1. 80-87. <https://doi.org/10.1016/J.JRRAS.2016.12.004>
49. Marín A., Tudela J.A., Garrido Y., Albolafio S., Hernández N., Andújar S., Allende A., Gil M.I. Chlorinated wash water and pH regulators affect chlorine gas emission and disinfection by-products // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020. 66. 102533. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2020.102533>
50. Mehta D., Sharma N., Bansal V., Sangwan R.S., Yadav S.K. Impact of ultrasonication, ultraviolet and atmospheric cold plasma processing on quality parameters of tomato-based beverage in comparison with thermal processing // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2019. 52. 343-349. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2019.01.015>
51. Miller J.C., Kuppaswamy A., Babu S., Putich M.N., Wankhade U.D. Gut microbes are associated with the vascular beneficial effects of dietary strawberry on metabolic syndrome-induced vascular inflammation // *Molecular Nutrition & Food Research*. 2022. 66, 2. 2200112. <https://doi.org/10.1002/MNFR.202200112>
52. Misra N.N., Patil S., Moiseev T., Bourke P., Mosnier J.P., Keener K.M., Cullen P.J. In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries // *Journal of Food Engineering*. 2014. 125, 1. 131-138. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2013.10.023>
53. Nguyen V.T.B., Nguyen D.H.H., Nguyen H.V.H. Combination effects of calcium chloride and nano-chitosan on the postharvest quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) // *Postharvest Biology and Technology*. 2020. 162. 111103. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111103>
54. Okatan V., Aşkın M.A., Polat M., Bulduk I., Çolak A.M., Güçlü S.F., Kahramanoğlu I., Tallarita A.V., Caruso G. Effects of melatonin dose on fruit yield, quality, and antioxidants of strawberry cultivars grown in different crop systems // *Agriculture*. 2022. 13, 1. 71. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE13010071>
55. Olatunde O.O., Shiekh K.A., Benjakul S. Pros and cons of cold plasma technology as an alternative non-thermal processing technology in seafood industr // *Trends in Food Science & Technology*. 2021. 111. 617-627. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.03.026>
56. Pan Y., Cheng J.H., Sun D.W. Cold plasma-mediated treatments for shelf life extension of fresh produce: A review of recent research developments // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019. 18, 5. 1312-1326. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12474>

57. Pang L., Wu Y., Pan Y., Ban, Z., Li L., & Li X. Insights into exogenous melatonin associated with phenylalanine metabolism in postharvest strawberry // *Postharvest Biology and Technology*. 2020. 168. 111244. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2020.111244>
58. Petrasch S., Knapp S.J., van Kan J.A.L., Blanco-Ulate B. Grey mould of strawberry, a devastating disease caused by the ubiquitous necrotrophic fungal pathogen *Botrytis cinerea* // *Molecular Plant Pathology*. 2019. 20. 877892. <https://doi.org/10.1111/MPP.12794>
59. Pillai S.D., Shayanfar S. Electron beam technology and other irradiation technology applications in the food industry // *Applications of radiation chemistry in the fields of industry, biotechnology and environment*. Springer. 2017. 249-268 https://doi.org/10.1007/978-3-319-54145-7_9
60. Posé S., Kirby A.R., Mercado J.A., Morris V.J., Quesada M.A. Structural characterization of cell wall pectin fractions in ripe strawberry fruits using AFM // *Carbohydrate Polymers*. 2012. 88. 882-890. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2012.01.029>
61. Promyou S., Raruang Y., Chen Z.Y. Melatonin treatment of strawberry fruit during storage extends its post-harvest quality and reduces infection caused by *Botrytis cinerea* // *Foods*. 2023. 12. 1445. <https://doi.org/10.3390/FOODS12071445>
62. Ranjbar S., Ramezani A., & Rahemi, M. Nano-calcium and its potential to improve 'Red Delicious' apple fruit characteristics // *Horticulture Environment and Biotechnology*. 2020. 61. 23-30. <https://doi.org/10.1007/S13580-019-00168-Y>
63. Rather S.A., Hussain P.R., Suradkar P.P., Ayob O., Sanyal B., Tillu A., Chaudhary N., Chavan R.B., Ghosh S.K. Comparison of gamma and electron beam irradiation for using phyto-sanitary treatment and improving physico-chemical quality of dried apricot and quince // *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 2019. 12, 1. 245259. <https://doi.org/10.1080/16878507.2019.1650223>
64. Rizky W.M., Pamungkas A.P., Falah M.A.F. Prediction of respiration measurement based on temperature differences of fresh strawberry (*Fragaria × ananassa* var. Kelly Bright) in a tropical environment // *Planta Tropika*. 2024. 12. 58-72. <https://doi.org/10.18196/pt.v12i1.17855>
65. Sadik H., Ouazzani C., Moustaghfir A., El Ghammarti S., Er-Ramly A., Essebbahi I., Dami A., Balouch L. Comparison of the nutritional proprieties of commercial strawberries, red and black raspberry consumed in Morocco // *Applied Food Research*. 2023. 3, 2. 100362. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2023.100362>
66. Salazar-Orbea G.L., García-Villalba R., Tomás-Barberán F.A., Sánchez-Siles L.M. High-pressure processing vs. thermal treatment: Effect on the stability of polyphenols in strawberry and apple products // *Foods*. 2021. 10. 2919. <https://doi.org/10.3390/FOODS10122919>
67. Shakya R., Lal M.A. Fruit development and ripening // *Plant physiology, development and metabolism* / S.C. Bhatla, M.A. Lal Eds. Springer. 2018. 857-883. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1_27
68. Sivakumar D., Fallik E. Influence of heat treatments on quality retention of fresh and fresh-cut produce // *Food Reviews International*. 2013. 29, 3. 294-320. <https://doi.org/10.1080/87559129.2013.790048>
69. Siu A. An analysis of food waste in Ontario's domestic fresh strawberry supply chain. Master's thesis. York University. 2014. <https://yorkspace.library.yorku.ca/bitstreams/226786ee-5e69-44b5-adab-5b84227f8882/download>
70. Siddiqui M.W., Deshi V., Irfan M., Kumar V., Homa F., Mir H., Singh D.R. Hydrogen sulfide: Promising applications for postharvest quality improvement of fruit and vegetables // *Postharvest Biology and Technology*. 2023. 202. 112394. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2023.112394>
71. Sun M., Yang T., Qiao X.H., Zhao P., Zhu Z.P., Su K.Y., Sun C.W., Xie Z.B., Zhang S.S., Xu M., Xu L.L., Xiong A.S. Hydrogen sulfide delays postharvest ripening of white fleshed strawberry

- by regulating phytohormone accumulation and ROS generation // *Postharvest Biology and Technology*. 2023. 20. 112536. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2023.112536>
72. Ulrich D., Kecke S., Olbricht K. What do we know about the chemistry of strawberry aroma? // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018. 66. 3291-3301. <https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.8B01115>
73. Vicente A.R., Martínez G.A., Chaves A.R., Civello P.M. Effect of heat treatment on strawberry fruit damage and oxidative metabolism during storage // *Postharvest Biology and Technology*. 2006. 40, 2. 116-122. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2005.12.012>
74. Vischetti C., Feliziani E., Landi L., de Bernardi A., Marini E., Romanazzi G. Effectiveness of four synthetic fungicides in the control of post-harvest gray mold of strawberry and analyses of residues on fruit // *Agronomy*. 2023. 14. 65. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY14010065>
75. Yang N., Zhang X., Lu Y., Jiang F., Yu J., Sun X., & Hao Y. Use of DENBA+ to assist refrigeration and extend the shelf-life of strawberry fruit. // *Postharvest Biology and Technology*. 2023. 195. 112152. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2022.112152>
76. Yoon Y.S., Ameer K., Song B.S., Kim J.K., Park H.Y., Lee K.C., Eun J.B., Park J.H. Effects of X-ray irradiation on the postharvest quality characteristics of 'Maehyang' strawberry (*Fragaria × ananassa*) // *Food Chemistry*. 2020a. 325. 126817. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.126817>
77. Yoon Y.S., Kim J.K., Lee K.C., Eun J.B., Park J.H. Effects of electron-beam irradiation on postharvest strawberry quality // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2020b. 44, 9. e14665. <https://doi.org/10.1111/JFPP.14665>
78. Wang J., Li Z., Gao G., Wang Y., Zhao C., Bai H., Lv Y., Zhang X., Li Q. BerryNet-Lite: A lightweight convolutional neural network for strawberry disease identification // *Agriculture*. 2024. 14, 5. 665. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE14050665>
79. Weber R.W.S., Hahn M. Grey mould disease of strawberry in northern Germany: Causal agents, fungicide resistance and management strategies // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019. 103. 15891597. <https://doi.org/10.1007/S00253-018-09590-1>
80. Xu X., Agyare S., Browne E., Passey T. Predicting infection of strawberry fruit by *Mucor* and *Rhizopus* spp. under protected conditions // *Frontiers in Horticulture*. 2024. 3. 1373717. <https://doi.org/10.3389/FHORT.2024.1373717>
81. Zhang Y., Yu H., Hu M., Wu J., Zhang C. Fungal pathogens associated with strawberry crown rot disease in China // *Journal of Fungi*. 2023. 8. 1161. <https://doi.org/10.3390/jof8111161>
82. Zhang W., Liu R., Sun X., An H., Min T., Zhu Z., Wen Y. Leaf-stomata-inspired packaging nanofibers with humidity-triggered thymol release based on thymol/EVOH coaxial electrospinning // *Food Research International*. 2022. 162. 112093. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.112093>
83. Zhao L., Zhou Y., Liang L., Godana E.A., Zhang X., Yang X., Wu M., Song Y., Zhang H. Changes in quality and microbiome composition of strawberry fruits following postharvest application of *Debaryomyces hansenii*, a yeast biocontrol agent // *Postharvest Biology and Technology*. 2023. 202. 112379. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2023.112379>
84. Ziaee A., Zia M., Bayat M., Hashemi J. Identification of *Mucorales* isolates from soil using morphological and molecular methods // *Current Medical Mycology*. 2016. 2. 13. <https://doi.org/10.18869/ACADPUB.CMM.2.1.13>
85. Ziuzina D., Misra N.N., Han L., Cullen P.J., Moiseev T., Mosnier J.P., Keener K., Gaston E., Vilaró I., Bourke P. Investigation of a large gap cold plasma reactor for continuous in-package decontamination of fresh strawberries and spinach // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020. 59. 102229. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2019.102229>

References

1. Akimov, M.Yu., Luk'yanchuk, I.V., Zhanova, E.V., & Lyzhin, A.S. (2020). Strawberry fruit (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) as a valuable source of nutritional and biologically active substances (review). *Chemistry of plant raw materials*, 1, 5-18 <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020015511>. (In Russian, English abstract).
2. Burak, L.Ch.(2024a). Using modern processing technologies to increase the shelf life of fruits and vegetables. Subject field overview. *Polzunovsky vestnik*, 1, 99-119 <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.013>. (In Russian, English abstract).
3. Burak, L.Ch. (2024b). Limitations and possibilities of modern technologies for ensuring microbiological safety of food products. *News of higher educational institutions. Food technology*, 2-3, 6-13. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2024.2-3.1>. (In Russian, English abstract).
4. Burak, L.Ch. (2025). *The influence of modern methods of processing and sterilization on the quality of fruit and vegetable raw materials and juice products*. INFRA-M. <https://doi.org/10.12737/0.12737/2154991>. (In Russian).
5. Burak, L.Ch., Sapach, A.N., & Zavaley, A.P. (2024). Effect of cold plasma treatment on the quality and nutritional value of plant materials. Scoping review. *News of universities. Applied chemistry and biotechnology*, 14(2), 173-183. <https://doi.org/10.21285/achb.914>. (In Russian, English abstract).
6. Burak, L.Ch. (2023). Overview of developments of biodegradable packaging materials for the food industry. *Polzunovsky vestnik*, 1, 91-105. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.012>. (In Russian, English abstract).
7. Panfilova, O.F., Pil'shchikova, N.V. (2023). Physiological aspects of ripening and extending the shelf life of fleshy fruits. *Izvestiya TSHA*, 4, 75-94 <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-4-75-94>. (In Russian, English abstract).
8. Aaby, K., Mazur, S., Nes, A., & Skrede, G.(2012). Phenolic compounds in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) fruits: Composition in 27 cultivars and changes during ripening. *Food chemistry*, 32, 8697. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2011.10.037>
9. Alaguthevar, R., Packialakshmi, J.S., Murugesan, B., Rhim, J.W., & Thiyaagamoorthy, U. (2024). In-package cold plasma treatment to extend the shelf life of food. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 23(2), e13318. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13318>
10. Baicu, A.A., & Popa, M.E.(2018). Trends in prolonging the post-harvest life of strawberries—A review he Annals of the University Dunarea De Jos of Galati. *Fascicle VI – food technology*, 42, 9-16.
11. Barkaoui, S., Mankai, M., Miloud, N.B., Kraïem, M., Madureira, J., Verde, S.C., & Boudhrioua, N. (2021). E-beam irradiation of strawberries: Investigation of microbiological, physicochemical, sensory acceptance properties and bioactive content. *Innovative food science & emerging technologies*, 73, 102769. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2021.102769>
12. Bautista-Baños, S., Bosquez-Molina, E., & Barrera-Necha, L.L. (2014). Rhizopus stolonifer (Soft Rot). In *Postharvest decay: Control strategies* (pp. 1-44). AcademicPress. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411552-1.00001-6>
13. Caleb, O.J., Wegner, G., Rolleczech, C., Herppich, W.B., Geyer, M., & Mahajan, P.V. (2016). Hot water dipping: Impact on postharvest quality, individual sugars, and bioactive compounds during storage of 'Sonata' strawberry. *Scientia horticulturae*, 210, 150-157. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.07.021>
14. Ciofini, A., Negrini, F., Baroncelli, R., & Baraldi, E. (2022). Management of post-harvest anthracnose: Current approaches and future perspectives. *Plants*, 11, 1856. <https://doi.org/10.3390/PLANTS11141856>

15. Chaiprasart, P. (2016). Effect of 1-methylcyclopropene on postharvest qualities of "Parajchatan #72" strawberry fruit. *Acta horticulturae*, 1117, 227-230. <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2016.1117.36>
16. Chen, C., Zhang, H., Dong, C., Ji, H., Zhang, X., Li, L., Ban, Z., Zhang, N., & Xue, W. (2019). Effect of ozone treatment on the phenylpropanoid biosynthesis of postharvest strawberries. *RSC advances*, 9(44), 25429-25438. <https://doi.org/10.1039/C9RA03988K>
17. Contigiani, E.V., Jaramillo-Sánchez, G., Castro, M.A., Gómez, P.L., & Alzamora, S.M. (2018). Postharvest quality of strawberry fruit (*Fragaria* × *ananassa* Duch. cv. Albion) as affected by ozone washing: Fungal spoilage, mechanical properties, and structure. *Food and bioprocess technology*, 11(9), 1639-1650. <https://doi.org/10.1007/S11947-018-2127-0>
18. Dzhanezova, T., Barba-Espín, G., Müller, R., Joernsgaard, B., Hegelund, J.N., Madsen, B., Larsen, D.H., Martínez Vega, M., & Toldam-Andersen, T.B. (2020). Anthocyanin profile, antioxidant activity and total phenolic content of a strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) genetic resource collection. *Food bioscience*, 36, p.100620. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2020.100620>
19. El Hadi, M., Zhang, F.J., Wu, F.F., Zhou, C.H., & Tao, J. (2013). Advances in fruit aroma volatile research. *Molecules*, 18, 82008229. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES18078200>
20. El-Araby, A., Azzouzi, A., Ayam, I.M., Samouh, K.F., & Errachidi, F. (2023). Survey on technical management of strawberries in Morocco and evaluation of their post-harvest microbial load. *Frontiers in microbiology*, 13, 1115340. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2022.1115340>
21. El-Ramady, H.R., Domokos-Szabolcsy, É., Abdalla, N.A., Taha, H.S., & Fári, M. (2015). Postharvest Management of Fruits and Vegetables Storage. In: Lichtfouse, E. (Eds.), *Sustainable agriculture reviews*, 15 Springer https://doi.org/10.1007/978-3-319-09132-7_2
22. Fan, Z., Hasing, T., Johnson, T.S., Garner, D.M., Schwieterman, M.L., Barbey, C.R., Colquhoun, T.A., Sims, C.A., Resende, M.F.R., & Whitaker, V.M. (2021). Strawberry sweetness and consumer preference are enhanced by specific volatile compounds. *Horticulture research*, 8, 66. <https://doi.org/10.1038/S41438-021-00502-5>
23. Fan, T.T., Zhang, J., Cao, J.X., Xia, M.H., Wang, T., & Cao, S. (2022). Effects of resveratrol treatment on quality and antioxidant properties of postharvest strawberry fruit. *Journal of food biochemistry*, 46(8), e14176. <https://doi.org/10.1111/JFBC.14176>
24. Feliziani, E., & Romanazzi, G. (2016). Postharvest decay of strawberry fruit: Etiology, epidemiology, and disease management. *Journal of berry research*, 6, 47-63. <https://doi.org/10.3233/JBR-150113>
25. Gündüz, K., & Özbay, H. (2018). The effects of genotype and altitude of the growing location on physical, chemical, and phytochemical properties of strawberry. *Turkish journal of agriculture and forestry*, 42, 145153. <https://doi.org/10.3906/tar-1706-65>
26. Haile, Z.M., Nagpala-de Guzman, E.G., Moretto, M., Sonogo, P., Engelen, K., Zoli, L., Moser, C., & Baraldi, E. (2019). Transcriptome profiles of strawberry (*Fragaria vesca*) fruit interacting with *Botrytis cinerea* at different ripening stages. *Frontiers in plant science*, 10, 463178. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2019.01131>
27. Hoffmann, T.G., Finardi, S., de Oliveira, J.T., Mueller, E., Bertoli, S.L., Meghwal, M., & de Souza, C.K. (2022). Comparative study of white LED light and dark condition in domestic refrigerator on reducing postharvest strawberries waste. *Journal on food, agriculture and society*, 10(2), 1-10. <https://doi.org/10.17170/kobra-202204136007>
28. Hosseini, A., Koushesh Saba, M., & Ashengroph, M. (2024). Efficacy of aquatic yeasts to control gray mold decay, and impacts on strawberry quality during cold storage and shelf life. *Scientia horticulturae*, 323, 112503. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2023.112503>

29. Iqbal, M., Andreasson, E., & Stenberg, J.A. (2023). Biological control of strawberry diseases by *Aureobasidium pullulans* and sugar beet extract under field conditions. *Journal of plant pathology*, 105(3), 933-941. <https://doi.org/10.1007/S42161-023-01408-Y>
30. Ikegaya, A., Toyoizumi, T., Ohba, S., Nakajima, T., Kawata, T., Ito, S., & Arai, E. (2020). Effects of distribution of sugars and organic acids on the taste of strawberries. *Food science & nutrition*, 7, 24192426. <https://doi.org/10.1002/FSN3.1109>
31. Jin, P., Zheng, C., Huang, Y.P., Wang, X.L., Luo, Z.S., & Zheng, Y.H. (2016). Hot air treatment activates defense responses and induces resistance against *Botrytis cinerea* in strawberry fruit. *Journal of integrative agriculture*, 15(11), 2658-2665. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61387-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61387-4)
32. Kan, J., Hui, Y., Lin, X., Liu, Y., & Jin, C. (2021). Postharvest ultraviolet-C treatment of peach fruit: Changes in transcriptome profile focusing on genes involved in softening and senescence. *Journal of food processing and preservation*, 45(10), e15813. <https://doi.org/10.1111/JFPP.15813>
33. Kim, J.O., Shin, J.H., Gumilang, A., Chung, K., Choi, K.Y., & Kim, K.S. (2016). Effectiveness of different classes of fungicides on *Botrytis cinerea* causing gray mold on fruit and vegetables. *The plant pathology journal*, 32, 570574. <https://doi.org/10.5423/PPJ.NT.05.2016.0114>
34. Ktenioudaki, A., O'donnell, C.P., & Do Nascimento Nunes, M.C. (2019). Modeling the biochemical and sensory changes of strawberries during storage under diverse relative humidity condition. *Postharvest biology and technology*, 154, 148-158. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2019.04.023>
35. Lafarga, T., Colás-Medà, P., Abadías, M., Aguiló-Aguayo, I., Bobo, G., & Viñas, I. (2019). Strategies to reduce microbial risk and improve quality of fresh and processed strawberries: A review. *Innovative food science & emerging technologies*, 52, 97-212. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2018.12.012>
36. Langer, S.E., Hirsch, M., Burges, P.L., Martínez, G.A., Civello, P.M., Marina, M., & Villarreal, N.M. (2024). Biochemical and molecular traits underlying the quality preservation and defense enhancement by heat treatment in harvest-ripe strawberries. *Scientia horticulturae*, 333, 113287. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2024.113287>
37. Langer, S.E., Marina, M., Burgos, J.L., Martínez, G.A., Civello, P.M., & Villarreal, N.M. (2019). Calcium chloride treatment modifies cell wall metabolism and activates defense responses in strawberry fruit (*Fragaria × ananassa*, Duch.). *Journal of the science of food and agriculture*, 99(8), 4003-4010. <https://doi.org/10.1002/JSFA.9626>
38. Langer, S.E., Marina, M., Francese, P., Civello, P.M., Martínez, G.A., & Villarreal, N.M. (2022). New insights into the cell wall preservation by 1-methylcyclopropene treatment in harvest-ripe strawberry fruit. *Scientia horticulturae*, 299, 111032. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2022.111032>
39. Langer, S.E., Oviedo, N.C., Marina, M., Burgos, J.L., Martínez, G.A., Civello, P.M., & Villarreal, N.M. (2018). Effects of heat treatment on enzyme activity and expression of key genes controlling cell wall remodeling in strawberry fruit. *Plant physiology and biochemistry*, 130, 334344. <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2018.07.015>
40. Li B.-J., Grierson D., Shi Y., Chen K.-S. (2022). Roles of abscisic acid in regulating ripening and quality of strawberry, a model non-climacteric fruit. *Horticulture research*, 9, 089 <https://doi.org/10.1093%2Fhr%2Fuhac089>
41. Li, D., Butot, S., Zuber, S., & Uyttendaele, M. (2018). Monitoring of foodborne viruses in berries and considerations on the use of RT-PCR methods in surveillance. *Food control*, 89, 235-240. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2018.02.024>

42. Li, W., Jiang, Y., Hu, C., Liu, G., Li, Y., & Wang, S. (2023). Identification, pathogenic mechanism and control of *Rhizopus oryzae* causing postharvest fruit rot in pumpkin. *Postharvest biology and technology*, 204, 112460. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2023.112460>
43. Li, X., Xie, X., Xing, F., Xu, L., Zhang, J., & Wang, Z. (2019). Glucose oxidase as a control agent against the fungal pathogen *Botrytis cinerea* in postharvest strawberry. *Food control*, 105, 277-284. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2019.05.037>
44. Liu, Q., Chen, Q., Liu, H., Du, Y., Jiao, W., Sun, F., & Fu, M. (2024). *Rhizopus stolonifer* and related control strategies in postharvest fruit: A review. *Heliyon*, 10, e29522. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2024.E29522>
45. Lv, J., Zheng, T., Song, Z., Pervaiz, T., Dong, T., Zhang, Y., Jia, H., & Fang, J. (2022). Strawberry proteome responses to controlled hot and cold stress partly mimic post-harvest storage temperature effects on fruit quality. *Frontiers in nutrition*, 8, 812666. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2021.812666>
46. Ma, R., Wang, G., Tian, Y., Wang, K., Zhang, J., & Fang, J. (2015). Non-thermal plasma-activated water inactivation of food-borne pathogen on fresh produce. *Journal of hazardous Materials*, 300, 643-651. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2015.07.061>
47. Mansouri, S., Koushesh Saba, M., & Sarikhani, H. (2023). Exogenous melatonin delays strawberry fruit ripening by suppressing endogenous ABA signaling. *Scientific reports*, 13(1), 14209. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41311-1>
48. Maraei, R.W., & Elsayy, K.M. (2017). Chemical quality and nutrient composition of strawberry fruits treated by γ -irradiation. *Journal of radiation research and applied sciences*, 10(1), 80-87. <https://doi.org/10.1016/J.JRRAS.2016.12.004>
49. Marín, A., Tudela, J.A., Garrido, Y., Albolafio, S., Hernández, N., Andújar, S., Allende, A., & Gil, M.I. (2020). Chlorinated wash water and pH regulators affect chlorine gas emission and disinfection by-products. *Innovative food science & emerging technologies*, 66, 102533. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2020.102533>
50. Mehta, D., Sharma, N., Bansal, V., Sangwan, R.S., & Yadav, S.K. (2019). Impact of ultrasonication, ultraviolet and atmospheric cold plasma processing on quality parameters of tomato-based beverage in comparison with thermal processing. *Innovative food science & emerging technologies*, 52, 343-349. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2019.01.015>
51. Miller, J.C., Kuppuswamy, A., Babu, S., Putich, M.N., Wankhade, U.D. (2022). Gut microbes are associated with the vascular beneficial effects of dietary strawberry on metabolic syndrome-induced vascular inflammation. *Molecular nutrition & food research*, 66, 2200112. <https://doi.org/10.1002/MNFR.202200112>
52. Misra, N.N., Patil, S., Moiseev, T., Bourke, P., Mosnier, J.P., Keener, K.M., & Cullen, P.J. (2014). In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries. *Journal of food engineering*, 125(1), 131-138. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2013.10.023>
53. Nguyen, V.T.B., Nguyen, D.H.H., & Nguyen, H.V.H. (2020). Combination effects of calcium chloride and nano-chitosan on the postharvest quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Postharvest biology and technology*, 162, 111103. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111103>
54. Okatan, V., Aşkın, M.A., Polat, M., Bulduk, I., Çolak, A.M., Güçlü, S.F., Kahramanoğlu, I., Tallarita, A.V., & Caruso, G. (2022). Effects of melatonin dose on fruit yield, quality, and antioxidants of strawberry cultivars grown in different crop systems. *Agriculture*, 13(1), 71. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE13010071>
55. Olatunde, O.O., Shiekh, K.A., & Benjakul, S. (2021). Pros and cons of cold plasma technology as an alternative non-thermal processing technology in seafood industry. *Trends in food science & technology*, 111, 617-627. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.03.026>

56. Pan, Y., Cheng, J.H., & Sun, D.W. (2019). Cold plasma-mediated treatments for shelf life extension of fresh produce: A review of recent research developments. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 18(5), 1312-1326. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12474>
57. Pang, L., Wu, Y., Pan, Y., Ban, Z., Li, L., & Li, X. (2020). Insights into exogenous melatonin associated with phenylalanine metabolism in postharvest strawberry. *Postharvest biology and technology*, 168, 111244. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2020.111244>
58. Petrasch, S., Knapp, S.J., van Kan, J.A.L., & Blanco-Ulate, B. (2019). Grey mould of strawberry, a devastating disease caused by the ubiquitous necrotrophic fungal pathogen *Botrytis cinerea*. *Molecular plant pathology*, 20, 877892. <https://doi.org/10.1111/MPP.12794>
59. Pillai, S.D., & Shayanfar, S. (2017). Electron beam technology and other irradiation technology applications in the food industry. In M. Venturi & M. D'Angelantonio (Eds.) *Applications of radiation chemistry in the fields of industry, biotechnology and environment* (pp. 249-268). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54145-7_9
60. Posé, S., Kirby, A.R., Mercado, J.A., Morris, V.J., & Quesada, M.A. (2012). Structural characterization of cell wall pectin fractions in ripe strawberry fruits using AFM. *Carbohydrate polymers*, 88, 882-890. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2012.01.029>
61. Promyou, S., Raruang, Y., & Chen, Z.Y. (2023). Melatonin treatment of strawberry fruit during storage extends its post-harvest quality and reduces infection caused by *Botrytis cinerea*. *Foods*, 12, 1445. <https://doi.org/10.3390/FOODS12071445>
62. Ranjbar, S., Ramezani, A., & Rahemi, M. (2020). Nano-calcium and its potential to improve 'Red Delicious' apple fruit characteristics. *Horticulture environment and biotechnology*, 61(1), 23-30. <https://doi.org/10.1007/S13580-019-00168-Y>
63. Rather, S.A., Hussain, P.R., Suradkar, P.P., Ayob, O., Sanyal, B., Tillu, A., Chaudhary, N., Chavan, R.B., & Ghosh, S.K. (2019). Comparison of gamma and electron beam irradiation for using phyto-sanitary treatment and improving physico-chemical quality of dried apricot and quince. *Journal of radiation research and applied sciences*, 12(1), 245259. <https://doi.org/10.1080/16878507.2019.1650223>
64. Rizky, W.M., Pamungkas, A.P., & Falah, M.A.F. (2024). Prediction of respiration measurement based on temperature differences of fresh strawberry (*Fragaria × ananassa* var. Kelly Bright) in a tropical environment. *Planta tropika*, 12, 58-72. <https://doi.org/10.18196/pt.v12i1.17855>
65. Sadik, H., Ouazzani, C., Moustaghfir, A., El Ghammarti, S., Er-Ramly, A., Essebbahi, I., Dami, A., & Balouch, L. (2023). Comparison of the nutritional proprieties of commercial strawberries, red and black raspberry consumed in Morocco. *Applied food research*, 3, 100362. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2023.100362>
66. Salazar-Orbea, G.L., García-Villalba, R., Tomás-Barberán, F.A., & Sánchez-Siles, L.M. (2021). High-pressure processing vs. thermal treatment: Effect on the stability of polyphenols in strawberry and apple products. *Foods*, 10, 2919. <https://doi.org/10.3390/FOODS10122919>
67. Shakya, R., & Lal, M.A. (2018). Fruit development and ripening. In S.C. Bhatla & M.A. Lal (Eds.), *Plant physiology, development and metabolism* (pp 857-883). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1_27
68. Sivakumar, D., & Fallik, E. (2013). Influence of heat treatments on quality retention of fresh and fresh-cut produce. *Food reviews international*, 29(3), 294-320. <https://doi.org/10.1080/87559129.2013.790048>
69. Siu, A. (2014). *An analysis of food waste in Ontario's domestic fresh strawberry supply chain*. [MA thesis, York University]. <https://yorkspace.library.yorku.ca/bitstreams/226786ee-5e69-44b5-adab-5b84227f8882/download>
70. Siddiqui, M.W., Deshi, V., Irfan, M., Kumar, V., Homa, F., Mir, H., & Singh, D.R. (2023). Hydrogen sulfide: Promising applications for postharvest quality improvement of fruit and

- vegetables. *Postharvest biology and technology*, 202, 112394. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2023.112394>
71. Sun, M., Yang, T., Qiao, X.H., Zhao, P., Zhu, Z.P., Su, K.Y., Sun, C.W., Xie, Z.B., Zhang, S.S., Xu, M., Xu, L.L., & Xiong, A.S. (2023). Hydrogen sulfide delays postharvest ripening of white fleshed strawberry by regulating phytohormone accumulation and ROS generation. *Postharvest biology and technology*, 205, 112536. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2023.112536>
72. Ulrich, D., Kecke, S., & Olbricht, K. (2018). What do we know about the chemistry of strawberry aroma? *Journal of agricultural and food chemistry*, 66, 3291-3301. <https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.8B01115>
73. Vicente, A.R., Martínez, G.A., Chaves, A.R., & Civeello, P.M. (2006). Effect of heat treatment on strawberry fruit damage and oxidative metabolism during storage. *Postharvest biology and technology*, 40(2), 116-122. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2005.12.012>
74. Vischetti, C., Feliziani, E., Landi, L., de Bernardi, A., Marini, E., & Romanazzi, G. (2023). Effectiveness of four synthetic fungicides in the control of post-harvest gray mold of strawberry and analyses of residues on fruit. *Agronomy*, 14, 65. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY14010065>
75. Yang, N., Zhang, X., Lu, Y., Jiang, F., Yu, J., Sun, X., & Hao, Y. (2023). Use of DENBA+ to assist refrigeration and extend the shelf-life of strawberry fruit. *Postharvest biology and technology*, 195, 112152. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2022.112152>
76. Yoon, Y.S., Ameer, K., Song, B.S., Kim, J.K., Park, H.Y., Lee, K.C., Eun, J.B., & Park, J.H. (2020a). Effects of X-ray irradiation on the postharvest quality characteristics of 'Maehyang' strawberry (*Fragaria* × *ananassa*). *Food chemistry*, 325, 126817. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.126817>
77. Yoon, Y.S., Kim, J.K., Lee, K.C., Eun, J.B., & Park, J.H. (2020b). Effects of electron-beam irradiation on postharvest strawberry quality. *Journal of food processing and preservation*, 44(9), e14665. <https://doi.org/10.1111/JFPP.14665>
78. Wang, J., Li, Z., Gao, G., Wang, Y., Zhao, C., Bai, H., Lv, Y., Zhang, X., & Li, Q. (2024). BerryNet-Lite: A lightweight convolutional neural network for strawberry disease identification. *Agriculture*, 14, 665. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE14050665>
79. Weber, R.W.S., & Hahn, M. (2019). Grey mould disease of strawberry in northern Germany: Causal agents, fungicide resistance and management strategies. *Applied microbiology and biotechnology*, 103, 5891597. <https://doi.org/10.1007/S00253-018-09590-1>
80. Xu, X., Agyare, S., Browne, E., & Passey, T. (2024). Predicting infection of strawberry fruit by *Mucor* and *Rhizopus* spp. under protected conditions. *Frontiers in horticulture*, 3, 1373717. <https://doi.org/10.3389/FHORT.2024.1373717>
81. Zhang, Y., Yu, H., Hu, M., Wu, J., & Zhang, C. (2023). Fungal pathogens associated with strawberry crown rot disease in China. *Journal of fungi*, 8, 1161. <https://doi.org/10.3390/jof8111161>
82. Zhang, Y., Li, S., Deng, M., Gui, R., Liu, Y., Chen, X., Lin, Y., Li, M., Wang, Y., He, W., Chen, Q., Zhang, Y., Luo, Y., Wang, X., & Tang, H. (2022). Blue light combined with salicylic acid treatment maintained the postharvest quality of strawberry fruit during refrigerated storage. *Food chemistry: X*, 15, 100384. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2022.100384>
83. Zhao, L., Zhou, Y., Liang, L., Godana, E.A., Zhang, X., Yang, X., Wu, M., Song, Y., & Zhang, H. (2023). Changes in quality and microbiome composition of strawberry fruits following postharvest application of *Debaryomyces hansenii*, a yeast biocontrol agent. *Postharvest biology and technology*, 202, 112379. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2023.112379>

84. Ziaee, A., Zia, M., Bayat, M., & Hashemi, J. (2016). Identification of Mucorales isolates from soil using morphological and molecular methods. *Current medical mycology*, 2, 13. <https://doi.org/10.18869/ACADPUB.CMM.2.1.13>
85. Ziuzina, D., Misra, N.N., Han, L., Cullen, P.J., Moiseev, T., Mosnier, J.P., Keener, K., Gaston, E., Vilaró, I., & Bourke, P. (2020). Investigation of a large gap cold plasma reactor for continuous in-package decontamination of fresh strawberries and spinach. *Innovative food science & emerging technologies*, 59, 102229. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2019.102229>

Авторы:

Леонид Чеславович Бурак, кандидат технических наук, директор ООО «БЕЛРОСАКВА», leonidburak@gmail.com

ORCID 0000-0002-6613-439X

SPIN 3898-5389

Наталия Леонидовна Овсянникова, заместитель директора по технологии ООО «БЕЛРОСАКВА», info@belrosakva.by

Authors details:

Leonid Ch. Burak, PhD in Technical Sciences, Head of LLC «BELROSAKVA», leonidburak@gmail.com

ORCID 0000-0002-6613-439X

SPIN 3898-5389

Nataliya L. Ovsyannikova, deputy director of LLC «BELROSAKVA», info@belrosakva.by

Отказ от ответственности: заявления, мнения и данные, содержащиеся в публикации, принадлежат исключительно авторам и соавторам. ФГБНУ ВНИИСПК и редакция журнала снимают с себя ответственность за любой ущерб людям и/или имуществу в результате использования любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в контенте.