

УДК 664.8

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ХРАНЕНИЯ И УПАКОВКИ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ (*FRAGARIA* × *ANANASSA DUCH.*) (ОБЗОР)

Л.Ч. Бурак¹ , Н.Л. Овсянникова¹

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

Аннотация

Послеуборочная обработка плодов земляники садовой и разработка эффективных методов хранения имеют решающее значение для увеличения срока годности и сохранения ее качества до момента потребления. Хотя были опубликованы некоторые обзоры по отдельным технологиям обработки, нами не установлено исследований, которые рассматривали и сравнивали традиционные и передовые методы консервирования земляники садовой. Поэтому, цель данного исследования – обзор современных послеуборочных методов хранения земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa Duch.*). В обзор включены статьи, опубликованные на английском и русском языках за период с 2014 по 2024 год. Для поиска, по ключевым словам, были использованы базы данных PubMed, Scopus, Web of Science, Elibrary и Google Scholar. Материалом для исследования послужили 56 научных публикаций. В первой части нашего исследования рассмотрены процессы метаболизма и биохимии, которые лежат в основе процесса созревания земляники садовой, дан анализ факторов, вызывающих порчу плодов земляники садовой, а также представлены современные способы ее обработки. Сохранение земляники садовой с использованием радиационной, световой или тепловой обработки может предотвратить рост микроорганизмов и повысить устойчивость плодов к болезням. Однако эти методы могут оказать негативное влияние на пищевую ценность, цвет и вкус ягод с течением времени. Холодильное хранение является наиболее часто применяемым методом хранения земляники садовой после сбора урожая по всей цепочке поставок. Помимо холодильного хранения, тщательно изучены и индивидуально применены для дальнейшего увеличения срока годности плодов земляники послеуборочные методы обработки, включая термический, холодную плазму и химическую обработку. Эти обработки помогают предотвратить заражение грибками, активируют систему метаболической защиты и улучшают структурную целостность ягод земляники садовой тем самым сохраняя их качество с течением времени, особенно при холодильном хранении. Помимо методов обработки, хранение в условиях модифицированной атмосферы, применение активной упаковки и функциональных покрытий были признаны действенными способами сохранения качества плодов и эффективного предотвращения порчи после сбора урожая. Кроме того, комбинированное использование двух или более из этих методов оказалось наиболее эффективным для улучшения срока годности плодов садовой земляники. Анализ противогрибковой эффективности современных методов консервирования, изучение синергии между различными методами и разработка решений на основе биополимеров представляют собой ключевой путь для будущих исследований.

Ключевые слова: земляника садовая, хранение, порча, срок годности, упаковка, модифицированная среда, умная упаковка, биополимеры, съедобное покрытие

MODERN METHODS OF STORAGE AND PACKAGING OF GARDEN STRAWBERRIES (*FRAGARIA* × *ANANASSA* DUCH.) (REVIEW)

L.Ch. Burak¹ , N.L. Ovsyannikova¹

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

Abstract

Postharvest treatment of garden strawberries and the development of effective storage methods are crucial to increase the shelf life and preserve its quality until consumption. Although some reviews on certain treatment technologies have been published, we have not found studies that considered and compared common and advanced methods of storing garden strawberries. Therefore, the goal of this study is to review modern postharvest methods of strawberry storage (*Fragaria* × *ananassa* Duch). The review includes reports published in English and Russian in 2014—2024. PubMed, Scopus, Web of Science, Elibrary and Google Scholar databases were used to search by keywords. 50 scientific publications have been studied. In the first part of our study, the metabolic and biochemistry processes that underlie the ripening process of strawberries are considered, the factors that cause spoilage of strawberry berries are analyzed, and modern methods of strawberry treatment are presented. The preservation of garden strawberries using radiation, light or heat treatment can prevent the development of microorganisms and increase the resistance of berries to diseases. However, these methods can have a negative impact on the nutritional value, color and taste of berries over time. Cold storage is the most commonly used method of storing garden strawberries after harvest throughout the supply chain. In addition to cold storage, post-harvest treatment methods, including thermal, cold plasma and chemical treatments, have been carefully studied and individually applied to further increase of the strawberry shelf life. These treatments help to prevent fungal infection, activate the metabolic protection system and improve the structural integrity of strawberry berries, thereby maintaining their quality over time, especially during cold storage. In addition to treatment methods, storage in a modified atmosphere, the application of active packaging and functional coatings have been recognized as effective ways to preserve the quality of berries and effectively prevent spoilage after harvest. In addition, the combined use of two or more of these methods has proven to be the most effective for improving the shelf life of garden strawberries. The analysis of the antifungal effectiveness of modern storage methods, study of the synergy between different methods and the development of solutions based on biopolymers represent a key path for future research.

Key words: garden strawberries, storage, spoilage, shelf life, packaging, modified environment, smart packaging, biopolymers, edible coating

Введение

Земляника садовая (далее земляника) – скоропортящаяся ягода потери которой в процессе послеуборочного хранения и реализации достигают до 50%. Эти потери не только приводят к значительному экономическому ущербу, но и снижают пищевую ценность ягод земляники, которая богата витаминами, антиоксидантами и минералами. Высокий потенциал микробного заражения ягод земляники и связанные с этим риски для здоровья обуславливают необходимость послеуборочной дезинфекции плодов земляники. Методы послеуборочной обработки и хранения имеют решающее значение для свежих ягод из-за их короткого срока годности, уменьшения порчи и продления свежести (возможно «сроков годности»). Традиционные методы снижения потерь урожая земляники включают физическую, например, охлаждение или облучение, и химическую обработку, например, применение фунгицидов или консервантов. Однако растущая обеспокоенность по поводу

воздействия на окружающую среду и рисков для здоровья, связанных с этими методами, побудила научное сообщество искать более безопасные альтернативы (Акимов, 2020, Бурак, 2024). 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, 2024; Rizky et al., 2024). Помимо этих методов обработки, еще одной стратегией хранения свежих плодов земляники после сбора урожая является упаковка. Упаковка играет важную функцию в сохранении качества свежей продукции после того, как она покидает хранилища, попадает в торговую сеть и в итоге покупается потребителями (Бурак и др., 2023а). Различные методы упаковки, такие как активная упаковка, а также активное покрытие и хранение в модифицированной среде (MAP), использовались для сохранения качества земляники (Błaszczuk et al., 2022). Несмотря на множество положительных результатов научных исследований об этих методах послеуборочного хранения земляники, на момент написания данной статьи нами не установлено обзоров, которые бы всесторонне анализировали все эти методы послеуборочной обработки плодов земляники. Хотя были опубликованы по отдельным послеуборочным обработкам обзорные статьи, но ни одно исследование не рассматривало и не сравнивало традиционные и передовые методы обработки и хранения земляники.

Цель данного исследования – обзор современных методов хранения и упаковки плодов земляники садовой, с целью снижения потерь от микробиологической порчи и продления срока годности.

Объекты и методы исследования

Для анализа применения современных послеуборочных методов хранения и упаковки плодов земляники, с целью снижения потерь от микробиологической порчи и продления срока годности был проведен обзор научных публикаций и электронных ресурсов за период с 2014 по 2024 годы. Поиск релевантной литературы осуществлялся через научные базы данных Scopus, Web of Science и РИНЦ, 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», «storage», «spoilage», «shelf life», «packaging», «modified environment», «smart packaging», «biopolymers», «edible coating», «земляника садовая», «хранение», «порча», «срок годности», «упаковка», «модифицированная среда», «умная упаковка», «биополимеры», «съедобное покрытие», «обеззараживание», упаковка в модифицированной среде», «съедобное покрытие». Критерии включения для статей, подлежащих анализу:

1. Статья опубликована в период с 2014 по 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.

1 Способы хранения

Послеуборочная обработка плодов земляники и разработка эффективных методов хранения имеют решающее значение для увеличения срока ее годности и сохранения ее качества до момента потребления. С этой целью были разработаны различные технологические процессы послеуборочной обработки и дезинфекции, включая термическую и химическую обработку; методы хранения, такие как хранение в контролируемой атмосфере (CAS) и холодильное хранение; методы упаковки, такие как MAP (Бурак и др., 2023a).

Наиболее важным фактором минимизации порчи плодов земляники является управление температурой. Высокие температуры во время хранения могут привести к более высокой скорости дыхания и сокращению срока годности (Mahmoudi et al., 2022; Rizky et al., 2024). Колебания температуры в цепочке поставок значительно влияют на срок годности плодов земляники; также температура хранения напрямую влияет на скорость транспирации плодов (Bovi et al., 2019). С увеличением скорости транспирации относительная влажность внутри контейнеров для хранения повышается и влияет на процесс плавления. Плавление, фазовый переход из твердого состояния в жидкое, происходит, когда относительная влажность поднимается выше точки росы из-за поглощения влаги из атмосферы. Точка росы определяется как значение относительной влажности, выше которого кристаллы, присутствующие в плодах, начинают поглощать большое количество воды из атмосферы и растворяться в ней (Bovi et al., 2019). Это растворение фруктозы оказывает серьезное негативное влияние на структурную целостность земляники, что со временем приводит к ее деградации и порче. Следовательно, мониторинг и контроль температуры в цепочке поставок имеют первостепенное значение (Бурак и др., 2023a; Bovi et al., 2019).

В настоящее время основными методами сохранения урожая земляники являются холодильное хранение и MAP. Эти методы направлены на снижение метаболической активности в землянике для продления срока ее хранения (Brizzolara et al., 2020). Однако это может привести к повреждению из-за аноксии и охлаждения, что может отрицательно повлиять на общее качество ягод (Brizzolara, et al., 2020). Сохранение земляники с использованием радиационной, световой или тепловой обработки может предотвратить рост микроорганизмов порчи и повысить устойчивость ягод к болезням. Однако, эти методы могут оказать негативное влияние на пищевую ценность, цвет и вкус ягод с течением времени (Бурак, 2024; Mahmoudi et al., 2022; Rizky et al., 2024; Salazar-Orbea et al., 2021). Кроме того, методы обработки и хранения ограничены складскими помещениями и в основном недоступны после того, как фрукты попадают на полки супермаркетов и к конечному потребителю. На этом этапе важную роль в сохранении качества фруктов принадлежит упаковке, такой как MAP. Однако, следует отметить, что MAP может способствовать продлению срока годности земляники только за счет задержки метаболизма и, следовательно, процесса созревания, не оказывая значительного влияния на их микробную порчу. Кроме того, большинство полимеров, используемых в настоящее время для изготовления MAP, представляют собой неразлагаемые пластики на основе нефти, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду (Бурак, 2024; Paulsen et al., 2024). За последние годы были исследованы различные инновационные виды упаковки и покрытия на основе биополимеров, которые действуют не только за счет задержки метаболических процессов, ограничивая газообмен между фруктами и окружающей средой, но также могут предотвращать микробное загрязнение и окисление питательных веществ. Несмотря на свою многофункциональность, упаковка на основе биополимеров еще не в полной мере получила широкое использование в промышленных условиях из-за ее ограниченной технологичности, что в настоящее время является основной темой многих

научных исследований работающих в этой области ученых во всем мире (Бурак, 2024; Westlake et al., 2023). Тем не менее, в этой области достигнут несомненный прогресс, и упаковочные и материалы покрытия на основе биополимеров демонстрируют большой потенциал для промышленного внедрения в ближайшем будущем. Во второй части нашего научного обзора более подробно рассматриваются различные методы послеуборочной обработки, хранения и упаковки, которые используются для сохранения качества земляники после сбора урожая и увеличения срока ее годности.

1.1 Хранение в контролируемой среде

Несмотря на неоднократные подтверждения, что упаковка в модифицированной атмосфере (MAP) эффективно продлевает срок годности различных свежих продуктов, в полной мере осуществлять контроль условий в упаковке в течение всей цепочки поставок не получилось. Поэтому хранение CAS применялся для дальнейшего продления срока годности свежих продуктов, особенно когда интервалы в цепочке поставок были значительными. CAS подразумевает хранение свежих продуктов в среде с более низким уровнем кислорода и/или более высокой концентрацией углекислого газа при температуре ниже 4°C и относительной влажности более 90% (Fragoso, Mújica-Paz, 2016). Для каждого вида продукта характерны свои оптимальные условия хранения. Параметры устанавливаются в герметичном помещении и постоянно контролируется и поддерживается в течение всего периода хранения (Fragoso, Mújica-Paz, 2016). CAS не только снижает скорость химических и биохимических реакций, но и подавляет рост патогенных микроорганизмов, тем самым сохраняя качество продукта и продлевая срок годности. Как следует из определения, низкие температуры являются неотъемлемыми атрибутами CAS. Таким образом, контролируемая атмосфера (CA) с пониженной температурой могут использоваться в качестве метода консервации для повышения безопасности и продления срока годности минимально обработанных продуктов. Кроме того, CA используют только природные компоненты атмосферы (O_2 , CO_2 и N_2) и получили общественное признание, поскольку не используются синтетические вещества, не оставляя токсичных остатков на продуктах (Méndez-Galarraga et al., 2022). От первоначального признания преимуществ хранения CA по сравнению со стандартным хранением в охлажденном воздухе, произошло несколько значительных достижений в технологиях и стратегиях контроля атмосферы. Эти достижения включают использование методов очистки CO_2 для управления уровнями CO_2 , улучшенные технологии для создания атмосферы с низким содержанием O_2 , разработку систем «оценка и корректирование» для контроля атмосферы и инновации в протоколах контроля атмосферы (Czerwiński et al., 2021). Несмотря на то, что плоды земляники классифицируются как неклиматерические, они выделяют меньше CO_2 (примерно до 129 мг/кг/ч при 23°C) и значительно меньше этилена (Alamar et al., 2017). Изменение состава газа оказывает положительное влияние на сохранность фруктов, снижая дыхательную активность и увеличивая срок годности (Méndez-Galarraga et al., 2022). Однако влияние на присутствующие микроорганизмы может варьироваться в зависимости от природы пищевых продуктов и условий хранения. Было установлено, что высокие уровни CO_2 (5...15 кПа) и низкие уровни O_2 (1...5 кПа) эффективны для продления срока годности свежих фруктов за счет снижения выработки этилена, скорости дыхания и предотвращения роста аэробных микроорганизмов. Однако эти уровни газа могут способствовать росту анаэробных микроорганизмов и ухудшать качество продукта. Альтернативой является использование концентраций O_2 выше атмосферных (более 70 кПа), которые, как было показано, эффективно подавляют ферментативную порчу и рост микробов во фруктах, хранящихся в атмосферах с низким содержанием O_2 (Belay et al. 2017). Кроме того, исследования

показывают, что сочетание высоких уровней CO_2 и O_2 обеспечивает более эффективное подавление роста микроорганизмов, что потенциально обеспечивает условия для продления срока годности свежих продуктов по сравнению с использованием отдельных газов (Méndez-Galarraga et al., 2022). F. van de Velde с соавторами (2019) хранили фрукты в атмосферах с высоким содержанием CO_2 (10...20 кПа) и высоким содержанием O_2 (70...90 кПа) и изучали влияние условий хранения на содержание фенольных соединений. Авторы обнаружили значительное увеличение (167%) содержания антоцианов в плодах земляники, хранящейся в атмосфере 10 кПа CO_2 и 90 кПа O_2 . Кроме того, свежесобранные плоды, помещенные в атмосферу 20 кПа CO_2 и 80 кПа O_2 , показали длительные значения лаг-фазы (λ), что приводило к задержке роста психротрофных и мезофильных микроорганизмов на 12 и 10 дней соответственно (Méndez-Galarraga et al., 2022). В этом исследовании было отмечено, что в землянике, хранящаяся при высоком уровне CO_2 и/или O_2 , снижается содержание витамина С (на 22...36%). Однако повышенный уровень CO_2 также может способствовать усилению деградации витамина С, стимулируя действие фермента пероксидазы. Поэтому авторы пришли к выводу, что для достижения лучшего микробиологического контроля, сохранения качества урожая земляники повышения содержания в ней антоцианов рекомендуется хранить ее в охлажденной атмосфере с 20 кПа CO_2 и 70 кПа O_2 (Méndez-Galarraga et al., 2022). Многие авторы сообщали о синергетическом эффекте высоких уровней CO_2 и O_2 на микробиологический контроль, поскольку CO_2 изменяет текучесть мембраны микроорганизма и изменяет внутренний pH клетки за счет выработки угольной кислоты (El-Araby et al., 2023; van de Velde et al., 2019). J. Błaszczuk с соавторами (2022) оценили влияние даты сбора урожая, атмосферного воздуха, модифицированной атмосферы и СА на качество сортов земляники после краткосрочного хранения. Условия СА и модифицированной атмосферы обеспечили лучшее качество хранящейся земляники по сравнению с воздушной атмосферой в отношении твердости, титруемой кислотности, растворимых сухих веществ и содержания аскорбиновой кислоты. Хранение земляники в условиях СА снижает скорость дыхания и процесс размягчения плодов.

Дальнейшие научные исследования должны быть направлены на определение оптимальной продолжительности и концентрации СА, с целью продления срока хранения и сокращение послеуборочных потерь земляники.

2 Методы упаковки

Сохранение качества плодов земляники после сбора урожая стало серьезной проблемой для исследователей и сектора агробизнеса (Karoney et al., 2024). Поэтому исследования многих ученых посвящены разработке инновационных технологий сокращения потерь после сбора урожая, включая съедобные покрытия (Zhang et al., 2023; Mueller et al., 2024), MAP (Giannoglou et al., 2021), интеллектуальную упаковку (Hoffmann et al., 2022), активную упаковку (Бурак, 2023; Бурак и др., 2023b; Finardi et al., 2022). и другие. В отличие от традиционных технологий, эти методы помогают увеличить срок хранения земляники даже во время логистических и транспортных процессов, которые невозможно применить с использованием традиционных методов. Современные методы упаковки свежих продуктов не только оптимизируют MAP с помощью композиций инертного газа, но также включают разработку биоактивных полимерных пленок или покрытий с антимикробными свойствами путем иммобилизации антимикробных агентов в полимерных/биополимерных матрицах, включения и высвобождения летучих и нелетучих антимикробных агентов внутри упаковок в дополнение к использованию изначально антимикробных биополимеров (Бурак, 2024).

2.1 Упаковка в модифицированной газовой среде

Продление срока годности плодов земляники – сложный процесс, на который влияют характеристики продукта (транспирация, дыхание), условия окружающей среды (газовый состав, температура и относительная влажность атмосферы), а также ферментативная и микробиологическая порча (Nguyen et al., 2020). С целью максимального сохранения качества фруктов охлаждение необходимо дополнять одним или несколькими методами обработки, такими как упаковка MAP, что значительно продлевает срок хранения и сохраняет качество земляники (Carvalho Do Lago et al., 2023). MAP определяется как метод упаковки, который включает в себя изменение атмосферы внутри упаковки пищевых продуктов путем изменения состава газа по сравнению с тем, который обычно наблюдается в природе (Бурак и др., 2023а; Priyadarshi et al., 2020). Данный метод позволяет достичь оптимального состава газа в непосредственной близости от продукта, который зависит от дыхания продукта и проницаемости газа через пленку (Opara et al., 2019). Математическое моделирование стало эффективным инструментом для прогнозирования влияния MAP на упакованную землянику. С. Matar с соавторами (2018) провели количественную оценку срока хранения земляники (сорт Charlotte), хранящейся в MAP (O_2 – 20,9%, CO_2 – 0,03% и N_2 – 79,07%), используя обновленный и проверенный инструмент моделирования как в изотермических (5, 10 и 20 °C), так и в неизотермических условиях. Численное исследование различных условий хранения по времени/температуре позволило спрогнозировать продление срока годности более чем на 1 день, что указывает на значительные преимущества с точки зрения улучшения срока годности этого продукта в MAP, которые включают сокращение потерь продовольствия в цепочке поставок после сбора урожая. Недавнее исследование, проведенное С. Matar с соавторами (2020) было направлено на оценку влияния использования MAP вместо макроперфорированной упаковки на минимизацию потерь свежей земляники (Charlotte) от сбора урожая до конечного потребителя. Результаты продемонстрировали потенциал значительного сокращения потерь плодов до 40%, когда MAP внедряется на протяжении всей послеуборочной цепочки и эффективно используется потребителями дома. Если бы все потребители хранили землянику в холодильнике в упаковке MAP потери были бы сокращены на 74%. Пленки с различной проницаемостью (высокая, средняя и низкая) могут использоваться для упаковки свежих продуктов в условиях MAP. Проницаемость пленок разрабатывается с учетом специфики продукта, чтобы газы, такие как O_2 , CO_2 и водяной пар, выходили или входили в упаковку контролируемым образом, чтобы обеспечить условия для аэробного дыхания и поддерживались желаемые уровни CO_2 и влажности. Результаты показали, что в условиях модифицированной атмосферы и влажности предотвращение конденсации достигалось с помощью пленок, обладающих высокой проницаемостью для водяного пара (Matar et al., 2020).

MAP, наряду с холодильным хранением, широко используется для продления срока годности земляники. X. Zhao с соавторами (2019) исследовали комбинированную систему холода и MAP для свежих плодов. Исследование было сосредоточено на изолированной коробке из вспененного полистирола, интегрированной с материалами с изменяемой фазой и MAP для сохранения качества свежей земляники (*Fragaria* × *ananassa* Duch. cv. *Akihime*). Результаты показали, что этот метод эффективно сохраняет вес плодов, а MAP значительно сокращает потерю массы во время хранения. Подводя итог, можно сказать, что интегрированная система упаковки положительно повлияла на различные параметры, включая потерю веса, общее содержание растворимых сухих веществ, твердость, цвет, относительную электропроводность, скорость дыхания и общий внешний вид.

Хотя научные исследования подчеркивают преимущества и эффективность MAP по увеличению срока хранения для земляники, конкретные параметры хранения не во всех исследованиях установлены. Поэтому применение данного метода в послеуборочной цепочке встречается пока крайне редко. Тем не менее, технология может найти широкое применение в будущем, поскольку появятся новые упаковочные пленки, приемлемые для пищевых продуктов. Упаковка с модифицированными условиями газовой среды (MAP), наряду с хранением в условиях охлаждения, выделяется как эффективный метод увеличения срока годности земляники (Matar et al., 2020).

2.2 Упаковка и покрытия на основе биополимеров

Пластики на основе нефти являются наиболее широко используемым упаковочным материалом в пищевой промышленности, поскольку они недорогие, легкие, долговечные и простые в обработке (Purohit et al., 2023). Однако крупномасштабное производство и неправильная утилизация этих материалов вызывают серьезные экологические проблемы во всем мире (Бурак и др., 2023b). Следовательно, растет тенденция к разработке устойчивых и экологически чистых полимерных материалов для замены неразлагаемых и загрязняющих окружающую среду (Бурак, 2023; Бурак и др., 2023a).

Пленки и покрытия на основе биополимеров, полученные из возобновляемых источников, включают в себя различные материалы, полученные из продуктов животного (полисахариды, белки, липиды), растительного (целлюлоза, крахмал, другие полисахариды, белки), микробного происхождения (декстран, ксантан, пуллулан) и полимеры, синтезированные химическим путем из мономеров природного происхождения (полимолочная кислота) (Priyadarshi et al., 2019).

2.3 Активная упаковка

Для продления срока хранения свежих плодов земляники использовались различные биополимерные упаковочные пленки. Активная упаковка – это передовая технология, в которой активные компоненты (например, антиоксиданты) внедряются в полимерную матрицу упаковки. Затем полимерная матрица высвобождает или поглощает вещества из консервированных пищевых продуктов или окружающей среды или в них, чтобы поддерживать и продлевать срок годности пищевых продуктов (Бурак и др., 2023a). Система функционирует как полимерная матрица, основанная на использовании полимеров или биополимеров и биоактивных веществ, высвобождаемых естественным путем в пищу или окружающую среду. Активная упаковка для пищевых продуктов представляет собой хороший потенциал для поддержания качества и безопасности пищевых продуктов, особенно продуктов, чувствительных к окислению. Активные агенты для упаковки пищевых продуктов включают противомикробные препараты, антиоксиданты, излучатели или поглотители углекислого газа, поглотители кислорода и поглотители этилена (Бурак и др., 2023a). Биополимерные материалы обладают значительным потенциалом для инкапсуляции различных биоактивных соединений (из эфирных масел, растительных экстрактов и других источников), включая антиоксиданты, антибактериальные агенты, ароматизаторы, красители и питательные вещества (Бурак, 2023; Zhang et al., 2022a; Zhang et al., 2022b). Кроме того, биополимеры могут содержать антиоксидантные соединения и обладать свойствами контролируемого высвобождения, что делает их эффективными в изготовлении различных форм материалов для активной упаковки (Riahi et al., 2022). Нановолокна, наночастицы, гидрогели, полимерные микросферы и мицеллы являются носителями, обычно используемыми для инкапсуляции и доставки биоактивных соединений (Ke et al., 2023). Среди них электропряденные нановолокна в последнее время приобрели

большой интерес из-за их улучшенных механических свойств по сравнению с обычными пленками, которые изготавливаются другими методами, такими как литье из раствора (Riahi et al., 2022). Различные исследователи изготавливали электропряденные нановолоконные пленки на основе биополимеров, содержащие менее стабильные биоактивные соединения, такие как эфирные масла и натуральные экстракты, для упаковки пищевых продуктов. Электропрядение – это простая, эффективная и недорогая технология, которая позволяет непрерывно формировать субмикро волокна, которые могут быть обработаны в условиях окружающей среды, без воздействия высокой температуры. Поэтому электропрядение может быть использовано для инкапсуляции многих термически нестойких активных веществ. Y. Li с соавторами (2020) разработали поливинилпирролидон/шеллак нановолоконные пленки с ядром и оболочкой, включенные в эвгенол с помощью коаксиального электропрядения. Пленки были применены в качестве базового мата в коробке, используемой для упаковки земляники. Противогрибковая активность электропряденого мата была обусловлена наличием эвгенола, который является ароматическим активным компонентом, присутствующим в некоторых эфирных маслах, таких как гвоздичное масло, который медленно высвобождается из матов в атмосфере упаковки, чтобы подавить рост микроорганизмов на поверхности упакованных плодов. Такие соединения известны как антибактериальные ароматические соединения (ААС). ААС являются биоактивными компонентами, традиционно извлекаемыми из натуральных специй или эфирных масел с эффективной антибактериальной активностью. Исследователи наблюдали замедление ухудшения консистенции, потери веса и гниения плодов земляники, хранящейся в коробках с активными нановолоконными матами по сравнению с контрольными группами без активных матов. Плоды земляники в контрольной группе сгнили в течение 2 дней хранения при температуре 25°C и относительной влажности 60%. Напротив, активные маты сохранили землянику в течение шести дней без каких-либо признаков гниения. Исследователи объяснили это сохранение качества снижением интенсивности дыхания земляники в присутствии летучего эвгенола и его противогрибковой активностью (Li et al., 2020).

Другим популярным биоактивным соединением, стабилизированным электропрядеными нановолокнами, является тимол. Исследования доказали эффективность тимола в качестве активатора в пленках, применяемых для консервации земляники (Min et al., 2021; Zhang et al., 2022). Высвобождение тимола из активного материала способствует снижению физиологической активности плодов земляники, которая увеличивается после сбора урожая. Во время хранения и транспортировки с течением времени относительная влажность среды внутри упаковки возрастает, что увеличивает скорость высвобождения тимола из активного материала и продлевает срок годности земляники (Du et al., 2023).

Помимо биоактивных соединений в нановолоконных матах для сохранения земляники также использовались фотокаталитические наноматериалы. S.D. Deshapriya и I. Munaweera (2024) разработали фотокаталитические активные в видимом свете наноматериалы ZnO, легированные кобальтом, и внедрились в электропряденные нановолоконные маты на основе ацетата целлюлозы, которые использовались для упаковки и хранения земляники. Маты оказались эффективными для продления срока годности земляники за счет фотокаталитического разложения этилена на CO₂ и H₂O, что также повлияло на скорость дыхания и привело к незначительному изменению pH, замедлению потери веса и ухудшения консистенции. Первые признаки порчи грибок появились у земляники, упакованной в фотокаталитические электропряденные волокнистые маты и хранившейся в холодильнике (4°C), только через 18 дней по сравнению с 6 днями в контрольной группе, что указывает на трехкратное увеличение срока хранения (Deshapriya, Munaweera, 2024). Несмотря на

ограниченные исследования по сохранению земляники с использованием активных упаковочных пленок на основе биополимеров, большинство из них сосредоточены на применении съедобных активных ароматических соединений в качестве функциональных ингредиентов в пленках, которые высвобождаются при различных условиях для дезинфекции земляники и окружающей среды.

2.4 Съедобное покрытие на основе биополимеров

Съедобные покрытия, определяемые как тонкий слой, нанесенный непосредственно на поверхность пищевого продукта, создают барьер между плодами и окружающей средой. Покрытия на поверхности фруктов и овощей наносятся путем распыления, опрыскивания, погружения в раствор (Basumatary et al., 2022; Zhang et al., 2023). Съедобное покрытие частично блокирует обмен водяным паром между фруктом и окружающей его средой. В то же время оно играет важную роль в изменении атмосферы вокруг плода, выступая в качестве барьера для газообмена (Бурак, 2024). Исследования показали, что съедобные покрытия играют важную роль в сохранении фитонутриентов в свежих или нарезанных плодах. J. Yan с соавторами (2019) исследовали первичные и вторичные метаболиты плодов земляники садовой, покрывали ее методом послойного электростатического осаждения (LBL) на основе хитозана и карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), либо покрывали 1% хитозаном и обнаружили, что съедобное покрытие снижает потерю твердости и ароматических соединений во время хранения. Исследователи также провели метаболомный анализ и сделали вывод, что покрытие LBL снижает уровни первичных и вторичных метаболитов во время хранения в холодильнике при 0°C, тем самым сохраняя качество земляники в течение 8 дней. Другие исследователи также разработали покрытия для земляники на основе биополимера без каких-либо функциональных добавок. Например, Н.Е. Tahir с соавторами (2018) продемонстрировали эффективность съедобного покрытия из гуммиарабика в увеличении общего содержания антиоксидантов, а также содержания антоцианов и фенолов в охлажденной землянике. В исследовании G. Alharaty и H.S. Ramaswami (2020) земляника, покрытая раствором на основе альгината, показала значительное снижение потери воды и массы по сравнению с контрольной группой без покрытия. Покрытия также эффективно продлевают срок хранения земляники до 15 дней при температуре 4°C, препятствуя появлению плесени на ее поверхности (Alharaty, Ramaswamy, 2020). Кроме того, использование активных антимикробных полимеров, таких как хитозан, обеспечивает улучшенную защиту. Хитозан – натуральный, нетоксичный, экологически чистый, биоразлагаемый полимер с антибактериальными свойствами, также изучался для консервирования земляники (El-Araby et al., 2022; Tahir et al., 2019). В исследовании А. Етамифар с соавторами (2019), земляника, покрытая съедобным покрытием на основе салепы, обогащенным экстрактом виноградных косточек, показала самый низкий рост микроорганизмов в течение 20 дней хранения при температуре +1°C и относительной влажности 95%. Помимо экстрактов из растительного сырья в составы биополимерных покрытий для земляники также были включены экстракты из сельскохозяйственных отходов. Покрытие земляники гидроксиэтилцеллюлозой, полученной из отходов спаржи, эффективно замедляло изменение цвета во время хранения, демонстрируя при этом повышенную противогрибковую активность против *Penicillium italicum*. Кроме того, это покрытие успешно сохраняло содержание фенолов и флавоноидов в плодах, продлевая срок ее хранения до 8 дней при 25°C и относительной влажности 80% (Liu et al., 2021).

На основании результатов отмеченных исследований можно сделать вывод, что покрытия не только сохраняют качество земляники, но и продлевают срок ее хранения, предотвращая гниение и микробную порчу. Исследования также показали, что для

достижения более высокой эффективности послеуборочного хранения земляники эту технологию можно легко комбинировать с другими существующими технологиями хранения, такими как холодное хранение.

3 Проблемы и перспективы

Несмотря на значительные достижения в области продления сроков хранения и упаковки земляники после сбора урожая, сохраняются многочисленные проблемы, которые мешают оптимальному процессу хранения и дистрибуции. Земляника, ввиду своей высокой влажности и содержания питательных веществ является хорошим субстратом для развития микроорганизмов, вызывающих ее порчу в процессе хранения на складах и реализации в торговой сети. Хотя различные методы консервации после сбора урожая, такие как обработка химикатами, облучением, плазмой и теплом, были определены как эффективные, они требуют жесткого контроля параметров обработки, отсутствие которого в противном случае могут оказать пагубное влияние на качество плодов земляники. Кроме того, эти методы обработки применяются однократно на самых начальных этапах после сбора урожая и не всегда могут оказать положительное влияние на протяжении всей цепочки поставок. Перспективный подход к решению этой проблемы включает в себя синергетическое сочетание этих методов для большей их эффективности. Послеуборочная обработка земляники с помощью облучения, холодной плазмы, тепла и безопасных химикатов с последующим применением активной упаковки/покрытия и, наконец, хранением в условиях низких температур и контролируемой газовой атмосферы может привести к значительному увеличению срока хранения после сбора урожая. Хотя проводились исследования по оценке эффективности комбинированных методов, большинство из них включают только методы химической обработки или облучения (Contigiani et al., 2021; Panou et al., 2021). В дальнейшем, для разработки всеобъемлющих и эффективных способов хранения земляники необходимо проводить исследования других комбинаций, особенно такие как упаковка или покрытия на основе биополимеров. Кроме того, необходимы исследования для разработки натуральных и устойчивых альтернатив химикатам, таким как гипохлорит натрия (NaOCl), которые широко используются для дезинфекции после сбора урожая (Promyou et al., 2023).

Другим важным фактором, влияющим на срок хранения земляники в процессе цепочки поставок, является ее чувствительность к колебаниям температуры, что является постоянной проблемой, приводящей к потерям продукции. Следует отметить, что технологии упаковки MAP, такие как Xtend, оказались приемлемы для эффективной замены методов на базе CAS, сохраняя газообразный состав внутри упаковки (Błaszczuk et al., 2022). Упаковка Xtend обеспечивает сбалансированность атмосферы упакованных продуктов в пределах оптимального диапазона O₂ и CO₂ для конкретного вида продукции. Она также удерживает влагу внутри упаковки, уменьшая тем самым потерю массы при хранении. Вместе с тем, на сегодняшний день не существует методов, которые могли бы эффективно решать проблемы, связанные с колебаниями температуры, поэтому разработка таких методов также является перспективным направлением исследований. Кроме того, серьезную озабоченность вызывает воздействие традиционных пластиковых упаковочных материалов на окружающую среду, что обуславливает потребность в более экологических альтернативах (Бурак и др., 2023b). Несмотря на увеличение количества исследований составов на основе биополимеров, редко встречаются технологии, разработанные с использованием только биополимеров. Например, FruitPad включает только средний слой на основе целлюлозы, тогда как внешние верхний и нижний слои представляют собой полиэтилен. Необходимость включения неразлагаемого пластика для использования

свойств биоразлагаемых материалов возникает из-за ограниченной возможности переработки биополимеров промышленными методами в их нативном состоянии. Кроме того, биополимеры имеют гораздо более низкую влагостойкость по сравнению с синтетическими пластиками, что отрицательно влияет на их другие физико-химические свойства, например, механическая прочность (Cui et al., 2023). Эти факторы создают необходимость включения опорных субстратов для биополимеров на основе пластика. Будущие исследования должны быть направлены на устранение данных ограничений. Также следует продолжать научные исследования по использованию съедобных покрытий для земляники. Биополимеры могут эффективно покрывать свежие плоды в виде полупроницаемого слоя, который может играть важную роль в достижении эффекта, подобного MAP, снижая интенсивность дыхания и созревание плодов, а также обеспечивая физический барьер против микроорганизмов, вызывающих порчу. Более того, они являются эффективными носителями натуральных активных соединений, которые могут не только замедлять рост микроорганизмов, но и предотвращать окисление и деградацию питательных веществ. Следует также отметить, что они устойчивы, широко распространены, недороги, съедобны и биосовместимы, что с точки зрения экологических и экономических аспектов представляет потенциал для хранения свежей продукции после сбора урожая, включая землянику.

В целом, исследования должны быть направлены на изучение и решение обсуждаемых проблем, с которыми сталкивается сельскохозяйственный сектор, разработку новых современных способов, которые потенциально могут сохранить плоды после сбора урожая, будучи безопасными для людей и окружающей среды.

Заключение

Достижения в области упаковки и способов обработки земляники после сбора урожая играют важную роль в продлении срока годности и сохранении ее качества. Холодильное хранение является наиболее часто применяемым методом увеличения срока годности и предотвращения микробиологической порчи для плодов земляники после сбора урожая по всей цепочке поставок. Помимо холодильного хранения, для дальнейшего увеличения срока хранения земляники были тщательно изучены и индивидуально применены такие методы обработки после сбора урожая как термический, облучение, с использованием ионизирующего излучения, такого как рентгеновские лучи, гамма-лучи, электронные пучки и УФ-С, обработка холодной плазмой и обработка химическими веществами. Полезными для сохранения качества плодов земляники и эффективного предотвращения порчи после сбора урожая, помимо методов обработки, являются контроль газовой среды с помощью CAS, применение активной упаковки и функциональных покрытий. Хотя большинство методов послеуборочной обработки применяются в условиях промышленного производства, у каждого из них есть свои достоинства и недостатки. В процессе хранения земляники в условиях модифицированной газовой среды (MAP) происходят различные физиологические реакции, зависящие от сорта и конкретных условий хранения. MAP может замедлять процессы размягчения плодов и уменьшать потерю веса, также MAP влияет на активность ферментов, связанных с биосинтезом этилена и размягчением клеточной стенки, что позволяет сохранить качество плодов. При хранении земляники в MAP необходимо учитывать динамическую реакцию плодов на условия упаковки, особенно если используются различные типы упаковочных материалов, таких как PA, PP, PE, LDPE, LLDPE, PS, PES, PET, EVOH и PVC. Эти полимеры являются наиболее распространёнными в MAP и обладают разными свойствами, влияющими на газообмен и сохранение свежести продуктов. Следует отметить, что преимущества MAP могут быть нивелированы при

вскрытии упаковки или наличии повреждений, что приводит к быстрой порче плодов. Кроме того, одной из актуальных задач при использовании МАР остаётся контроль скорости транспирации, что особенно важно для свежих продуктов, таких как земляника. Таким образом, для эффективного хранения земляники в МАР важно учитывать специфические физиологические реакции каждого сорта и обеспечивать постоянный контроль состояния упаковки и условий хранения. Технология МАР эффективна и доступна для промышленного использования, но данная технология по-прежнему предполагает применение пластиковых контейнеров на основе нефтепродуктов, которые имеют негативные экологические последствия. Методы активной упаковки и покрытия на основе биополимеров, несмотря на их высокую эффективность в сохранении качества плодов земляники после сбора урожая, не получили широкого применения по причине высокой себестоимости и не отработанных параметров использования. Рассмотрение противогрибковой эффективности методов консервации, изучение синергии между различными методами и разработка решений на основе биополимеров представляют собой ключевой путь для будущих исследований. В целом, будущие исследования должны быть направлены на изучение и решение обсуждаемых проблем, с которыми сталкивается сельскохозяйственный сектор, и 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://elibrary.ru/iwnokh>
2. Бурак Л.Ч. Влияние современных способов обработки и стерилизации на качество плодовоовощного сырья и соковой продукции. М.: ИНФРА-М, 2024. 236. <https://doi.org/10.12737/2154991>
3. Бурак Л.Ч., Сапач А.Н., Писарик М.И. Интеллектуальная упаковка для овощей и фруктов, классификация и перспективы использования: Обзор предметного поля // Health, Food & Biotechnology. 2023a. 5, 1. 51-80. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i1.s165>
4. Бурак Л.Ч., Ермошина Т.В., Королева Л.П. Загрязнение почвенной среды микропластиком, факторы влияния и экологические риски // Экология и промышленность России. 2023b. 27, 5. 58-63. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-5-58-63>
5. Бурак Л.Ч. Обзор разработок биоразлагаемых упаковочных материалов для пищевой промышленности // Ползуновский вестник. 2023. 1. 91-105. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.012>
6. Alamar M.C., Collings E., Cools K., Terry L.A. Impact of controlled atmosphere scheduling on strawberry and imported avocado fruit // Postharvest Biology and Technology. 2017. 134. 7686. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.08.003>
7. Alharaty G., Ramaswamy H.S. The effect of sodium alginate-calcium chloride coating on the quality parameters and shelf life of strawberry cut fruits // Journal of Composites Science. 4, 3. 123. <https://doi.org/10.3390/jcs4030123>
8. Basumatary I.B., Mukherjee A., Katiyar V., Kumar S. Biopolymer-based nanocomposite films and coatings: Recent advances in shelf-life improvement of fruits and vegetables // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022. 62, 7. 1912-1935. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1848789>

9. Belay Z.A., Caleb O.J., Opara U.L. Impacts of low and super-atmospheric oxygen concentrations on quality attributes, phytonutrient content and volatile compounds of minimally processed pomegranate arils (cv. Wonderful) // *Postharvest Biology and Technology*. 2017. 124. 119-127. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.10.007>
10. Bovi G.G., Caleb O.J., Klaus E., Tintchev F., Rauh C., Mahajan P.V. Moisture absorption kinetics of FruitPad for packaging of fresh strawberry // *Journal of Food Engineering*. 2019. 223. 248-254. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2017.10.012>
11. Brizzolara S., Manganaris G.A., Fotopoulos V., Watkins C.B., Tonutti P. Primary metabolism in fresh fruits during storage. // *Frontiers in Plant Science*. 2020. 11. 509561. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.00080>
12. Błaszczyk J., Bieniasz M., Nawrocki J., Kopeć M., Mierzwa-Hersztek M., Gondek K., Zaleski T., Knaga J., Bogdał S. The effect of harvest date and storage conditions on the quality of remontant strawberry cultivars grown in a gutter system under covers // *Agriculture*. 2022. 12, 8. 1193. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081193>
13. Carvalho Do Lago R., Zitha E.Z.M., de Oliveira A.L.M., de Abreu D.J.M., Carvalho E.E.N., Piccoli R.H., Tonoli G.H.D., Boas E.V.D.B.V. Effect of coating with co-product-based bionanocomposites on the quality of strawberries under refrigerated storage // *Scientia Horticulturae*. 2023. 309. 111668. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111668>
14. Contigiani E.V., Jaramillo Sánchez G.M., Castro M.A., Gómez P.L., Alzamora S.M. Efficacy of mild thermal and pulsed light treatments, individually applied or in combination, for maintaining postharvest quality of strawberry cv. Albion // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2021. 45, 1. e15095. <https://doi.org/10.1111/JFPP.15095>
15. Cui C., Gao L., Dai L., Ji N., Qin Y., Shi R., Qiao Y., Xiong L., Sun Q. Hydrophobic biopolymer-based films: Strategies, properties, and food applications // *Food Engineering Reviews*. 2023. 15, 2. 360-379. <https://doi.org/10.1007/S12393-023-09342-6>
16. Czerwiński K., Rydzkowski T., Wróblewska-Krepsztul J., Thakur V.K. Towards impact of modified atmosphere packaging (MAP) on shelf-life of polymer-film-packed food products: Challenges and sustainable developments // *Coatings*. 2021. 11, 12. 1504. <https://doi.org/10.3390/coatings11121504>
17. Deshapriya S.D., Munaweera I. Visible-light-active electrospun membranes based on cobalt-doped ZnO nanohybrids: Applications for food packaging // *Chemistry Select*. 2024. 9, 9. e202303830. <https://doi.org/10.1002/SLCT.202303830>
18. Du H., Sun X., Chong X., Yang M., Zhu Z., Wen Y. A review on smart active packaging systems for food preservation: Applications and future trends // *Trends in Food Science & Technology*. 2023. 141. 104200. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104200>
19. 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>
20. El-Araby A., El Ghadraoui L., Errachidi F. Usage of biological chitosan against the contamination of post-harvest treatment of strawberries by *Aspergillus niger* // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2022. 6. 881434. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.881434>
21. Emamifar A., Ghaderi Z., Ghaderi N. Effect of salep-based edible coating enriched with grape seed extract on postharvest shelf life of fresh strawberries // *Journal of Food Safety*. 2019. 39, 6. e12710. <https://doi.org/10.1111/jfs.12710>
22. Finardi S., Hoffmann T.G., Angioletti B.L., Mueller E., Lazzaris R.S., Bertoli S.L., Hlebová M., Khayrullin M., Nikolaeva N., Shariati M.A., Krebs de Souza C. Development and application of antioxidant coating on *Fragaria* spp. stored under isothermal conditions // *Journal of*

- Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2022. 11, 4. e5432. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.5432>
23. Fragoso A.V., Mújica-Paz H. Controlled atmosphere storage: Effect on fruit and vegetables // Encyclopedia of food and health / B. Caballero, P.M. Finglas, F. Toldrá Eds. Academic Press, 2016. 308-311. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00197-5>
 24. Giannoglou M., Xanthou Z.M., Chanioti S., Stergiou P., Christopoulos M., Dimitrakellis P., Efthimiadou A., Gogolides E., Katsaros G. Effect of cold atmospheric plasma and pulsed electromagnetic fields on strawberry quality and shelf-life // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2021. 68. 102631. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102631>
 25. 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>
 26. Karoney E.M., Molelekoa T., Bill M., Siyoum N., Korsten L. Global research network analysis of fresh produce postharvest technology: Innovative trends for loss reduction // Postharvest Biology and Technology. 2024. 208. 112642. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112642>
 27. Ke Q., Ma K., Zhang Y., Meng Q., Huang X., Kou X. Antibacterial aroma compounds as property modifiers for electrospun biopolymer nanofibers of proteins and polysaccharides: A review // International Journal of Biological Macromolecules. 2023. 253. 126563. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126563>
 28. Li Y., Dong Q., Chen J., Li L. Effects of coaxial electrospun eugenol loaded core-sheath PVP/shellac fibrous films on postharvest quality and shelf life of strawberries // Postharvest Biology and Technology. 2020. 159. 111028. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111028>
 29. Liu C., Jin T., Liu W., Hao W., Yan L., Zheng L. Effects of hydroxyethyl cellulose and sodium alginate edible coating containing asparagus waste extract on postharvest quality of strawberry fruit // LWT. 2021. 148. 111770. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.11177>
 30. Mahmoudi R., Razavi F., Rabiei V., Palou L., Gohari G. Postharvest chitosan-arginine nanoparticles application ameliorates chilling injury in plum fruit during cold storage by enhancing ROS scavenging system activity // BMC Plant Biology. 2022. 22, 1. 1-17. <https://doi.org/10.1186/S12870-022-03952-8>
 31. Matar C., Gaucel S., Gontard N., Guilbert S., Guillard V. Predicting shelf life gain of fresh strawberries 'Charlotte cv' in modified atmosphere packaging // Postharvest Biology and Technology. 2018. 142. 28-38. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.03.002>
 32. Matar C., Guillard V., Gauche K., Costa S., Gontard N., Guilbert S., Gaucel S. Consumer behaviour in the prediction of postharvest losses reduction for fresh strawberries packed in modified atmosphere packaging // Postharvest Biology and Technology. 2020. 163. 111119. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2020.111119>
 33. Méndez-Galarraga M.P., van de Velde F., Piagentini A.M., Pirovani M.É. Kinetic modeling of the changes in bioactive compounds and quality attributes of fresh-cut strawberries stored in controlled atmospheres with high oxygen alone or with carbon dioxide // Postharvest Biology and Technology. 2022. 190. 111947. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111947>
 34. Min T., Sun X., Zhou L., Du H., Zhu Z., Wen Y. Electrospun pullulan/PVA nanofibers integrated with thymol-loaded porphyrin metal-organic framework for antibacterial food packaging // Carbohydrate Polymers. 2021. 270. 118391. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2021.118391>
 35. Mueller E., Hoffmann T.G., Schmitz F.R.W., Helm C.V., Roy S., Bertoli S.L., de Souza C.K. Development of ternary polymeric films based on cassava starch, pea flour and green banana flour for food packaging // International Journal of Biological Macromolecules. 2024. 256. 128436. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128436>

36. 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>
37. Opara U.L., Caleb O.J., Belay Z.A. Modified atmosphere packaging for food preservation // Food quality and shelf life. Elsevier, 2019. 235-259. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817190-5.00007-0>
38. Panou A.A., Akrida-Demertzi K., Demertzis P., Riganakos K.A. Effect of gaseous ozone and heat treatment on quality and shelf life of fresh strawberries during cold storage // International Journal of Fruit Science. 2021. 21, 1. 218-231. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1866735>
39. Paulsen E., Barrios S., Bogdanoff N., Leandro G.C., Valencia G.A. Recent progress in modified atmosphere packaging and biopolymeric films and coatings for fresh strawberry shelf-life extension // Packaging Technology and Science. 2024. 37. 619-640. <https://doi.org/10.1002/PTS.2817>
40. Priyadarshi R., Kumar B., Deeba F., Kulshreshtha A., Negi Y.S. Food packaging: Natural and synthetic biopolymers // Encyclopedia of polymer applications / M. Mishra Ed. : Taylor and Francis Publishers, 2019. 1325-1342. <https://doi.org/10.1201/9781351019422-140000362>
41. Priyadarshi R., Deeba F., Sauraj, Negi Y.S. Modified atmosphere packaging development // Processing and development of polysaccharide-based biopolymers for packaging applications / Y. Zhang Ed. Elsevier, 2020. 261-280. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818795-1.00011-3>
42. 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, 7. 1445. <https://doi.org/10.3390/FOODS12071445>
43. Purohit S.D., Priyadarshi R., Bhaskar R., Han S.S. Chitosan-based multifunctional films reinforced with cerium oxide nanoparticles for food packaging applications // Food Hydrocolloids. 2023. 143. 108910. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2023.108910>
44. Riahi Z., Priyadarshi R., Rhim J.W., Lottali E., Bagheri R., Pircheraghi G. Alginate-based multifunctional films incorporated with sulfur quantum dots for active packaging applications // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2022. 215. 112519. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFB.2022.112519>
45. 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>
46. 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>
47. Tahir H.E., Xiaobo Z., Jiyong S., Mahunu G.K., Zhai X., Mariod A.A. Quality and postharvest-shelf life of cold-stored strawberry fruit as affected by gum arabic (*Acacia senegal*) edible coating // Journal of Food Biochemistry. 2018. 42. e12527. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12527>
48. Tahir H.E., Xiaobo Z., Mahunu G.K., Arslan M., Abdalhai M., Zhihua L. Recent developments in gum edible coating applications for fruits and vegetables preservation: A review // Carbohydrate Polymers. 2019. 224. 115141. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115141>
49. van de Velde F., Méndez-Galarraga M.P., Grace M.H., Fenoglio C., Lila M.A., Pirovani M.É. Changes due to high oxygen and high carbon dioxide atmospheres on the general quality and the polyphenolic profile of strawberries // Postharvest Biology and Technology. 2019. 148. 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.10.015>

50. Yan J., Luo Z., Ban Z., Lu H., Li D., Yang D., Aghdam M.S., Li L. The effect of the layer-by-layer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage // *Postharvest Biology and Technology*. 2019. 147. 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.002>
51. Westlake J.R., Tran M.W., Jiang Y., Zhang X., Burrows A.D., Xie M. Biodegradable biopolymers for active packaging: Demand, development and directions // *Sustainable Food Technology*. 2023. 1. 50-72. <https://doi.org/10.1039/D2FB00004K>
52. 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>
53. 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. Blue light combined with salicylic acid treatment maintained the postharvest quality of strawberry fruit during refrigerated storage // *Food Chemistry: X*. 2022a. 15. 100384. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2022.100384>
54. Zhang Y., Yu H., Hu M., Wu J., Zhang C. Fungal pathogens associated with strawberry crown rot disease in China // *Journal of Fungi*. 2022b. 8. 1161. <https://doi.org/10.3390/JOF8111161/S1>
55. Zhang X., Wang M., Gan C., Ren Y., Zhao X., Yuan Z. Riboflavin application delays senescence and relieves decay in harvested strawberries during cold storage by improving antioxidant system // *LWT*. 2023. 182. 114810. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2023.114810>
56. Zhao X., Xia M., Wei X., Xu C., Luo Z., Mao L. Consolidated cold and modified atmosphere package system for fresh strawberry supply chains // *LWT–Food Science and Technology*. 2019. 109. 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.032>

References

1. Akimov, M.Yu., Luk'yanchuk, I.V., Zhbanova, E.V., & Lyzhin, A.S. (2020). Strawberry fruit (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) as a valuable source of nutritional and bio-logically active substances (review). *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*, 1, 5-18. <https://elibrary.ru/iwnokh>. (In Russian, English abstract)
2. 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/10.12737/2154991>. (In Russian).
3. Burak, L.Ch., Sapach, A.N., & Pisarik, M.I. (2023a). Intelligent packaging for vegetables and fruits, and prospects for use. *Health, Food & Biotechnology*, 5(1), 51-80. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i1.s165>. (In Russian, English abstract).
4. Burak, L.Ch., Ermoshina T.V., & Koroleva L.P. (2023b). Pollution of the soil environment with microplastics, influencing factors and environmental risks. *Ecology and Industry of Russia*, 27(5), 58-63. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-5-58-63>. (In Russian, English abstract).
5. Burak L.Ch. (2023). Review 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).
6. Alamar, M.C., Collings, E., Cools, K., & Terry, L.A. (2017). Impact of controlled atmosphere scheduling on strawberry and imported avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 134, 7686. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.08.003>
7. Alharaty, G., & Ramaswamy, H.S. (2020). The effect of sodium alginate-calcium chloride coating on the quality parameters and shelf life of strawberry cut fruits. *Journal of Composites Science*, 4(3), 123. <https://doi.org/10.3390/jcs4030123>
8. Basumatary, I.B., Mukherjee, A., Katiyar, V., & Kumar, S. (2022). Biopolymer-based nanocomposite films and coatings: Recent advances in shelf-life improvement of fruits and

- vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(7), 1912-1935. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1848789>
9. Belay, Z.A., Caleb, O.J., & Opara, U.L. (2017). Impacts of low and super-atmospheric oxygen concentrations on quality attributes, phytonutrient content and volatile compounds of minimally processed pomegranate arils (cv. Wonderful). *Postharvest Biology and Technology*, 124, 119127. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.10.007>
10. Bovi, G.G., Caleb, O.J., Klaus, E., Tintchev, F., Rauh, C., & Mahajan, P.V. (2019). Moisture absorption kinetics of FruitPad for packaging of fresh strawberry. *Journal of Food Engineering*, 223, 248-254. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2017.10.012>
11. Brizzolara, S., Manganaris, G.A., Fotopoulos, V., Watkins, C.B., & Tonutti, P. (2020). Primary metabolism in fresh fruits during storage. *Frontiers in Plant Science*, 11, 509561. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.00080>
12. Błaszczyk, J., Bieniasz, M., Nawrocki, J., Kopeć, M., Mierzwa-Hersztek, M., Gondek, K., Zaleski, T., Knaga, J., & Bogdał, S. (2022). The effect of harvest date and storage conditions on the quality of remontant strawberry cultivars grown in a gutter system under covers. *Agriculture*, 12(8), 1193. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081193>
13. Carvalho Do Lago, R., Zitha, E.Z.M., de Oliveira, A.L.M., de Abreu, D.J.M., Carvalho, E.E.N., Piccoli, R.H., Tonoli, G.H.D., & Boas, E.V.D.B.V. (2023). Effect of coating with co-product-based bionanocomposites on the quality of strawberries under refrigerated storage. *Scientia Horticulturae*, 309, 111668. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111668>
14. Contigiani, E.V., Jaramillo Sánchez, G.M., Castro, M.A., Gómez, P.L., & Alzamora, S.M. (2021). Efficacy of mild thermal and pulsed light treatments, individually applied or in combination, for maintaining postharvest quality of strawberry cv. Albion. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1), e15095. <https://doi.org/10.1111/JFPP.15095>
15. Cui, C., Gao, L., Dai, L., Ji, N., Qin, Y., Shi, R., Qiao, Y., Xiong, L., & Sun, Q. (2023). Hydrophobic biopolymer-based films: Strategies, properties, and food applications. *Food Engineering Reviews*, 15(2), 360-379. <https://doi.org/10.1007/S12393-023-09342-6>
16. Czerwiński, K., Rydzkowski, T., Wróblewska-Krepsztul, J., & Thakur, V.K. (2021). Towards impact of modified atmosphere packaging (MAP) on shelf-life of polymer-film-packed food products: Challenges and sustainable developments. *Coatings*, 11(12), 1504. <https://doi.org/10.3390/coatings11121504>
17. Deshapriya, S.D., & Munaweera, I. (2024). Visible-light-active electrospun membranes based on cobalt-doped ZnO nanohybrids: applications for food packaging. *Chemistry Select*, 9(9), e202303830. <https://doi.org/10.1002/SLCT.202303830>
18. Du, H., Sun, X., Chong, X., Yang, M., Zhu, Z., & Wen, Y. (2023). A review on smart active packaging systems for food preservation: applications and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, 141, 104200. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104200>
19. 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>
20. El-Araby, A., El Ghadraoui, L., & Errachidi, F. (2022). Usage of biological chitosan against the contamination of post-harvest treatment of strawberries by *Aspergillus niger*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 881434. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.881434>
21. Emamifar, A., Ghaderi, Z., & Ghaderi, N. (2019). Effect of saiep-based edible coating enriched with grape seed extract on postharvest shelf life of fresh strawberries. *Journal of Food Safety*, 39(6), e12710. <https://doi.org/10.1111/jfs.12710>
22. Finardi, S., Hoffmann, T.G., Angioletti, B.L., Mueller, E., Lazzaris, R.S., Bertoli, S.L., Hlebová, M., Khayrullin, M., Nikolaeva, N., Shariati, M.A., & Krebs de Souza, C. (2022). Development

- and application of antioxidant coating on *Fragaria* spp. Stored under isothermal conditions. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 11(4), e5432. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.5432>
23. Fragoso, A.V., & Mújica-Paz, H. (2016). Controlled atmosphere storage: Effect on fruit and vegetables. In B. Caballero, P.M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 308-311). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00197-5>
24. Giannoglou, M., Xanthou, Z.M., Chanioti, S., Stergiou, P., Christopoulos, M., Dimitrakellis, P., Efthimiadou, A., Gogolides, E., & Katsaros, G. (2021). Effect of cold atmospheric plasma and pulsed electromagnetic fields on strawberry quality and shelf-life. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 68, 102631. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102631>
25. 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>
26. Karoney, E.M., Molelekoa, T., Bill, M., Siyoun, N., & Korsten, L. (2024). Global research network analysis of fresh produce postharvest technology: Innovative trends for loss reduction. *Postharvest Biology and Technology*, 208, 112642. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112642>
27. Ke, Q., Ma, K., Zhang, Y., Meng, Q., Huang, X., & Kou, X. (2023). Antibacterial aroma compounds as property modifiers for electrospun biopolymer nanofibers of proteins and polysaccharides: a review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 126563. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126563>
28. Li, Y., Dong, Q., Chen, J., & Li, L. (2020). Effects of coaxial electrospun eugenol loaded core-sheath PVP/shellac fibrous films on postharvest quality and shelf life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 159, 111028. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111028>
29. Liu, C., Jin, T., Liu, W., Hao, W., Yan, L., & Zheng, L. (2021). Effects of hydroxyethyl cellulose and sodium alginate edible coating containing asparagus waste extract on postharvest quality of strawberry fruit. *LWT*, 148, 111770. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111777>
30. Mahmoudi, R., Razavi, F., Rabiei, V., Palou, L., & Gohari, G. (2022). Postharvest chitosan-arginine nanoparticles application ameliorates chilling injury in plum fruit during cold storage by enhancing ROS scavenging system activity. *BMC Plant Biology*, 22, 1-17. <https://doi.org/10.1186/S12870-022-03952-8>
31. Matar, C., Gaucel, S., Gontard, N., Guilbert, S., & Guillard, V. (2018). Predicting shelf life gain of fresh strawberries 'Charlotte cv' in modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 142, 28-38. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.03.002>
32. Matar, C., Guillard, V., Gauche, K., Costa, S., Gontard, N., Guilbert, S., & Gaucel, S. (2020). Consumer behaviour in the prediction of postharvest losses reduction for fresh strawberries packed in modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 163, 111119. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2020.111119>
33. Méndez-Galarraga, M.P., van de Velde, F., Piagentini, A.M., & Pirovani, M.É. (2022). Kinetic modeling of the changes in bioactive compounds and quality attributes of fresh-cut strawberries stored in controlled atmospheres with high oxygen alone or with carbon dioxide. *Postharvest Biology and Technology*, 190, 111947. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111947>
34. Min, T., Sun, X., Zhou, L., Du, H., Zhu, Z., & Wen, Y. (2021). Electrospun pullulan/PVA nanofibers integrated with thymol-loaded porphyrin metal-organic framework for antibacterial food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 270, 118391. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2021.118391>

35. Mueller, E., Hoffmann, T.G., Schmitz, F.R.W., Helm, C.V., Roy, S., Bertoli, S.L., & de Souza, C.K. (2024). Development of ternary polymeric films based on cassava starch, pea flour and green banana flour for food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 256, 128436. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128436>
36. 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>
37. Opara, U.L., Caleb, O.J., & Belay, Z.A. (2019). Modified atmosphere packaging for food preservation. In *Food Quality and Shelf Life* (pp. 235-259). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817190-5.00007-0>
38. Panou, A.A., Akrida-Demertzi, K., Demertzis, P., & Riganakos, K.A. (2021). Effect of gaseous ozone and heat treatment on quality and shelf life of fresh strawberries during cold storage. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 218-231. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1866735>
39. Paulsen, E., Barrios, S., Bogdanoff, N., Leandro, G.C., & Valencia, G.A. (2024). Recent progress in modified atmosphere packaging and biopolymeric films and coatings for fresh strawberry shelf-life extension. *Packaging Technology and Science*, 37, 619-640. <https://doi.org/10.1002/PTS.2817>
40. Priyadarshi, R., Kumar, B., Deebe, F., Kulshreshtha, A., & Negi, Y.S. (2019). Food packaging: Natural and synthetic biopolymers. In M. Mishra (Ed.), *Encyclopedia of Polymer Applications* (1st ed., pp. 1325-1342). Taylor and Francis. <https://doi.org/10.1201/9781351019422-140000362>
41. Priyadarshi, R., Deebe, F., Sauraj, & Negi, Y.S. (2020). Modified atmosphere packaging development. In Y. Zhang (Ed.), *Processing and Development of Polysaccharide-Based Biopolymers for Packaging Applications* (pp. 261-280). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818795-1.00011-3>
42. 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(7), 1445. <https://doi.org/10.3390/FOODS12071445>
43. Purohit, S.D., Priyadarshi, R., Bhaskar, R., & Han, S.S. (2023). Chitosan-based multifunctional films reinforced with cerium oxide nanoparticles for food packaging applications. *Food Hydrocolloids*, 143, 108910. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2023.108910>
44. Riahi, Z., Priyadarshi, R., Rhim, J.W., Lotfali, E., Bagheri, R., & Pircheraghi, G. (2022). Alginate-based multifunctional films incorporated with sulfur quantum dots for active packaging applications. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 215, 112519. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFB.2022.112519>
45. 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(1), 58-72. <https://doi.org/10.18196/pt.v12i1.17855>
46. 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>
47. Tahir, H.E., Xiaobo, Z., Jiyong, S., Mahunu, G.K., Zhai, X., & Mariod, A.A. (2018). Quality and postharvest-shelf life of cold-stored strawberry fruit as affected by gum arabic (*Acacia senegal*) edible coating. *Journal of Food Biochemistry*, 42(3), e12527. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12527>
48. Tahir, H.E., Xiaobo, Z., Mahunu, G.K., Arslan, M., Abdalhai, M., & Zhihua, L. (2019). Recent developments in gum edible coating applications for fruits and vegetables preservation: a review. *Carbohydrate Polymers*, 224, 115141. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115141>

49. van de Velde, F., Méndez-Galarraga, M.P., Grace, M.H., Fenoglio, C., Lila, M.A., & Pirovani, M.É. (2019). Changes due to high oxygen and high carbon dioxide atmospheres on the general quality and the polyphenolic profile of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 148, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.10.015>
50. Yan, J., Luo, Z., Ban, Z., Lu, H., Li, D., Yang, D., Aghdam, M.S., & Li, L. (2019). The effect of the layer-by-layer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 147, 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.002>
51. Westlake, J.R., Tran, M.W., Jiang, Y., Zhang, X., Burrows, A.D., & Xie, M. (2023). Biodegradable biopolymers for active packaging: demand, development and direction. *Sustainable Food Technology*, 1, 50-72. <https://doi.org/10.1039/D2FB00004K>
52. Zhang, W., Liu, R., Sun, X., An, H., Min, T., Zhu, Z., & Wen, Y. (2022). Leaf-stomata-inspired packaging nanofibers with humidity-triggered thymol release based on thymol/EVOH coaxial electrospinning. *Food Research International*, 162, 112093. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.112093>
53. 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. (2022a). 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>
54. Zhang, Y., Yu, H., Hu, M., Wu, J., & Zhang, C. (2022b). Fungal pathogens associated with strawberry crown rot disease in China. *Journal of Fungi*, 8(11), 1161. <https://doi.org/10.3390/JOF8111161/S1>
55. Zhang, X., Wang, M., Gan, C., Ren, Y., Zhao, X., & Yuan, Z. (2023). Riboflavin application delays senescence and relieves decay in harvested strawberries during cold storage by improving antioxidant system. *LWT*, 182, 114810. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2023.114810>
56. Zhao, X., Xia, M., Wei, X., Xu, C., Luo, Z., & Mao, L. (2019). Consolidated cold and modified atmosphere package system for fresh strawberry supply chains. *LWT*, 109, 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.032>

Авторы:

Леонид Чеславович Бурак, кандидат технических наук, директор ООО «БЕЛРОСАКВА»,
leonidburak@gmail.com
ORCID 0000-0002-6613-439X
SPIN 3898-5389

Наталья 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.