

Современные стратегии управления качеством винограда и другой плодоовощной продукции для увеличения сроков хранения

Левченко С.В.[✉], Романов А.В., Бойко В.А., Белаш Д.Ю.

Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН, г. Ялта, Республика Крым, Россия

[✉]svelevchenko@rambler.ru

Аннотация. В статье представлен анализ современных и перспективных способов обработки плодоовощной продукции перед закладкой на хранение и в процессе хранения, используемых в мировой практике и в Российской Федерации. В результате анализа определены современные стратегии, отличающиеся эффективностью и биологической безопасностью. Наряду с такими методами, как использование холодильных установок с настраиваемым температурным режимом, контролем влажности, регулируемой атмосферой, применение биологических средств защиты на основе активных штаммов антагонистов, обработка химическими веществами, в том числе на основе хлоридов калия и кальция, проанализированы следующие инновационные технологии: использование съедобного/биологического покрытия, озонирование, использование ионизирующего излучения, обработка при помощи ультрафиолетового облучения.

Ключевые слова: хранение; плод; масса плода; качество; физиологические изменения; технологии с регулируемой атмосферой; биопрепараты; биопокрытия; физические методы обработки; озонирование; УФ-обработка.

Для цитирования: Левченко С.В., Романов А.В., Бойко В.А., Белаш Д.Ю. Современные стратегии управления качеством винограда и другой плодоовощной продукции для увеличения сроков хранения // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2024;26(4):386-395. EDN TCGSOV.

Modern strategies for quality management of grapes and other fruit and vegetable products to increase their shelf life

Levchenko S.V.[✉], Romanov A.V., Boiko V.A., Belash D.Yu.

All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking Magarach of the RAS, Yalta, Republic of Crimea, Russia

[✉]svelevchenko@rambler.ru

Abstract. The article presents an analysis of modern and promising methods of processing fruit and vegetable products before placing them for storage and during storage, used in world practice and in the Russian Federation. As a result of the analysis, modern strategies distinguished by their efficiency and biological safety are defined. Along with such methods as the use of refrigeration units with adjustable temperature conditions, humidity control, controlled atmosphere, the use of biological protection agents based on active strains of antagonists, processing with chemicals, including those based on potassium and calcium chlorides, the following innovative technologies are analyzed: the use of edible/biological coating, ozonation, the use of ionizing radiation, processing using ultraviolet irradiation.

Key words: storage; fruit; fruit weight; quality; physiological changes; controlled atmosphere technologies; biopreparations; biocoatings; physical treatment methods; ozonation; UV treatment.

For citation: Levchenko S.V., Romanov A.V., Boiko V.A., Belash D.Yu. Modern strategies for quality management of grapes and other fruit and vegetable products to increase their shelf life. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2024;26(4):386-395. EDN TCGSOV (in Russian).

Актуальность работы

Свежие фрукты и овощи являются оптимальными источниками получения витаминов, минеральных солей, углеводов, белков, растительных жиров и других питательных веществ, и современные способы хранения увеличивают возможности их потребления вне сезона с сохранением качества продукта [1, 2]. Производство и снабжение продуктами растениеводства не всегда находятся в балансе с потребностями населения. В случае избыточного производства свежих фруктов или овощей, которые являются скоро- или полупортящимися, важно их сохранить, чтобы обеспечить непрерывное снабжение продовольствием до следующего урожая [3].

Потеря качества плодов в период созревания и хранения происходит вследствие развития патогенной микрофлоры в послеуборочный период, влияния ряда физиологических изменений, таких как наступление физиологической зрелости плода, дыхания и выделения этилена, ферментативные реакции. Поэтому цель сохранения растительных продуктов заключается в подавлении любых биохимических реакций и ограничении проникновения бактерий и грибов, увеличения срока хранения [4, 5].

Стадия зрелости, при которой собирают плоды, влияет на их качество и срок хранения: если сбор урожая проводится слишком рано или слишком поздно, они могут не иметь вкуса и консистенции, присущие зрелым плодам, и срок их годности может быть сокращен. В послеуборочный период процесс дыхания плодов продолжается, в результате чего происхо-

дит потеря массы и пищевой ценности. В основном сочные плоды дышат быстрее, и по мере продолжения дыхания их качество снижается [6]. Некоторые фрукты, такие как яблоки и бананы, при созревании производят большое количество этилена, что может ускорить созревание плодов и отрицательно сказаться на качестве продукции [7, 8]. В последствии после сбора урожая плоды продолжают терять воду через кожуру, что может привести к сморщиванию и потере массы, повлиять на внешний вид и консистенцию [9].

Быстрая индустриализация проложила путь к таким методам хранения, как термическая обработка, консервирование и заморозка, что позволило увеличить срок хранения путем контроля возбудителей [10–12].

Однако существуют определенные недостатки в термической обработке и замораживании, приводящие к изменению консистенции пищевых продуктов, потери питательных веществ и органолептических свойств, что, соответственно, приводит к большим общим потерям [13]. Также сохранность пищевых продуктов стала серьезной проблемой из-за роста населения и повышения потребительских стандартов и требований по обеспечению здоровой и питательной пищей [14].

Таким образом, стратегии сокращения послеуборочных потерь плодов и овощей с целью обеспечения продовольствием населения направлены на минимизацию физиологических изменений и сохранению качества фруктов длительный период. Эти стратегии могут включать в себя соответствующий контроль температуры, контроль влажности, осторожное обращение во избежание физических повреждений, а также применение послеуборочных обработок для замедления дыхания, снижения производства этилена или борьбы с болезнями [15].

Обзор

В настоящее время одним из широко применяемых и эффективных технологий хранения плодов и овощей являются технологии с регулируемой атмосферой: хранение с применением регулируемой газовой среды (РГС) [16–19]; хранение с ультранизким содержанием кислорода (менее 1–1,5 %) в камере (Ultra Low Oxygen); технология быстрого снижения концентрации кислорода (Rapid Controlled Atmosphere); сверхбыстрое снижение уровня кислорода в камере за короткий промежуток времени; технология снижения уровня этилена в камере (Low Ethylene Controlled Atmosphere); динамическая регулируемая атмосфера (Dynamic Controlled Atmosphere); технология шоковой обработки углекислым газом с повышенным (до 30 %) содержанием CO_2 (CO_2 shock treatment) [20]. Создание газовой среды также возможно при применении упаковок из полиэтиленовой пленки с газоселективной мембраной за счет дыхания сырья (поглощение O_2 , выделение CO_2) или упаковок из полимерных пленок барьерного типа [21].

Различные обработки перед закладкой на хранение плодов и овощей играют важную роль в увеличении сроков хранения, сохранении товарных качеств и свежести продукта, а также в обеспечении его поста-

вок на рынок в течение всего года [22]. Перспективным направлением в хранении плодоовощного сырья является применение биологических средств защиты на основе активных штаммов антагонистов. Биопрепараты используют для борьбы с фитопатогенными организмами в послеуборочный период и при длительном холодильном хранении. Данная технология не создает угрозы нарушения экологического равновесия в биосфере, так как микроорганизмы, применяемые в качестве биопрепаратов, являются естественной микрофлорой окружающей среды [23]. Учеными из США для борьбы с голубой плесенью на яблоках были выделены штаммы вида *Metschnikowia*, которые обладают антагонистической активностью в отношении *Penicillium expansum*, особенно активных при холодильном хранении [24].

Биопрепараты на основе штаммов почвенных бактерий из группы *Bacillus subtilis*, такие как «Бактофит», «Алирин Б», «Витоплан СП» и «Экстрасол», которые широко применяются для борьбы с грибными и бактериальными заболеваниями зерновых, овощных и плодово-ягодных культур в период вегетации (мучнистая роса томатов, огурцов, груш, яблонь, корневые гнили, бактериозы капусты, фитофтороз картофеля и томатов, парша, монилиоз, ржавчина), могут использоваться для обработки плодов и овощей перед закладкой на хранение. Так, обработка препаратом «Экстрасол» перед закладкой на хранение предотвращает развитие гнилостной патогенной микрофлоры плодоовощного сырья, препятствует ее проникновению вглубь тканей; повышает лежкость, сохранность питательных веществ и витаминов; не оказывает ослабляющего эффекта на естественный иммунитет растений [22, 23].

Совместное воздействие биологических, химических и/или физических факторов является более эффективным способом обеспечения сохранности растительного сырья. Известен способ, при котором биопрепарат «Фитоспорин М» разводят водой, прошедшей обработку магнитным полем, данной суспензией обрабатывают продукцию перед закладкой на хранение. Сочетание биологического и физического метода позволяет сократить потери растительного сырья в процессе хранения [25]. Запатентован способ обработки яблок, предусматривающий последовательное выдерживание в растворах перманганата калия, лимонной кислоты и суспензии препарата, полученного из биомассы микромицета *Mortierella gamsii*, с последующим ультрафиолетовым облучением (Патент РФ. 2322017, Способ подготовки к хранению яблок свежих специального назначения, заявитель и патентообладатель Квасенков, 2008).

Из вышеизложенного следует, что применение биопрепаратов в послеуборочный период является перспективным методом, способствующим сохранению качественных показателей растительной продукции в процессе длительного хранения.

Однако, несмотря на широкий выбор технологий хранения, остается актуальным поиск новых экономически и социально выгодных методов, обеспечивающих высокое качество плодов и овощей. В числе

наиболее популярных и действенных методик можно, в частности, выделить следующие инновационные технологии хранения плодов и овощей: использование съедобного или биологического покрытия, использование ионизирующего излучения, обработка УФ-облучением, обработка в импульсных электрических полях, обработка с использованием высокого давления, использование мембранных технологий и др. [2].

Технологии биопокрытия открывают большие перспективы для будущего консервирования пищевых продуктов, предлагая более устойчивый и здоровый способ сохранения фруктов и овощей свежими продолжительные периоды [26]. Биопокрытия снижают потребность в упаковочных материалах на основе пластика, что позволяет свести к минимуму отходы и воздействие на окружающую среду. Однако при внедрении биопокрытий в коммерческих целях важно учитывать такие факторы, как масштабируемость, экономическая эффективность и нормативные требования [27].

Имеется большой спрос на натуральные консерванты вместо синтетических во избежание проблем со здоровьем, вызванных их употреблением. Перспективные консерванты – это натуральные противомикробные препараты, извлеченные из растений, животных или микроорганизмов, которые подавляют бактерии и рост грибов [28]. Однако существуют и широко используются пищевые консерванты химического происхождения, не представляющие собой риск для здоровья (например, CaCl_2 и сорбаты). Многие покрытия на биологической основе содержат эти ингредиенты. Исследованиями отечественных и зарубежных авторов доказано, что применение физиологически активных веществ на основе кальция снижает риск проникновения возбудителя болезней в ткани растений, стимулирует защитные механизмы [29, 30]. С повышением концентрации ионов кальция в плодах увеличивается продолжительность хранения за счет повышения устойчивости продукции к болезнетворным микроорганизмам и содержания вторичных метаболитов – фенольных веществ, в частности стильбенов [31, 32]. Поэтому предуборочное опрыскивание винограда растворами хлорида кальция и этанола может быть предложено в качестве практической альтернативы синтетическим фунгицидам и SO_2 для снижения заболеваемости грибными болезнями при хранении и улучшения качества столового винограда. Применение обработок кальцийсодержащими препаратами на винограде показало существенное снижение потери массы грозди к концу хранения на 34–45 % относительно контроля при сохранении высоких органолептических показателей (7,6–7,8 балла) [33, 34]. Для длительного хранения рекомендуется использовать партии винограда с содержанием Са не менее 0,090 %, для краткосрочного хранения – не менее 0,065 %; еще одним показателем высокой лежкоспособности является соотношение таких элементов, как (К+Mg):Са \geq 13 [35].

Для защиты от микроорганизмов, вызывающих порчу, в состав покрытия могут входить натуральные антимикробные соединения, такие как растительные

экстракты или эфирные масла. Это сводит к минимуму возможность микробного загрязнения и порчи, сохраняя свежесть и качество упакованных фруктов и овощей в течение более длительного периода времени. Биопокрытия могут быть обогащены питательными веществами или витаминами, которые вносят свой вклад в питательную ценность свежих фруктов и овощей при их длительном хранении. Эти питательные вещества могут быть получены из природных источников или инкапсулированы в материал биопокрытия, обеспечивая их контролируемое высвобождение и сохранение с течением времени [36–38]. Однако биопокрытия на основе эфирных масел могут значительно влиять на органолептические характеристики из-за летучих молекул, которые могут скрывать первоначальный вкус обработанных свежих фруктов или овощей.

Альтернативы традиционным методам могут включать в себя комбинирование многочисленных систем консервирования или использование антимикробных соединений, совместимых с определенными видами пищевых продуктов [39–44].

Биомолекулы, такие как полисахариды, белки и липиды, используются для создания съедобных биопокрытий, которые затем наносятся в виде тонкой пленки на поверхность продукта для регулирования влагопередачи, газообмена или процесса окисления, тем самым увеличивая срок годности продукта [45–47].

Свежие овощи и фрукты часто покрывают материалами на основе полисахаридов, чтобы продлить срок их хранения. Их организованная структура, содержащая водородную сеть, является причиной того, что они считаются эффективными блокаторами кислорода. Так, в целях сохранения физико-химических и органолептических свойств, улучшения микробной стабильности и увеличения послеуборочного срока хранения свежей клубники при хранении рассмотрена возможность получения съедобной оболочки на основе полисахарида и нано-оксида цинка (нано-ZnO). Способность биопокрытий адаптировать свой состав и функциональность открывает новые возможности для разработки инновационных упаковочных решений, которые решают две задачи: сохранение и повышение качества пищевых продуктов [48, 49].

По данным Petriccione и др. [50] клубника, хранившаяся при 2 °С, покрытая 1 % или 2 % раствором хитозана, имела гораздо меньшую скорость разложения, чем необработанная клубника того же сорта. Благодаря исследованиям Jongsti с соавторами [51], высокомолекулярный хитозан, применяемый при послеуборочном хранении манго, может замедлить процессы старения, сохранить качество плодов и продлить срок их хранения. Van Thi Tran с соавторами [52], используя покрытия на основе хитозана с различными концентрациями масла семян, показал, что использование различных концентраций масла семян чая улучшает противогрибковую способность покрытий хитозаном *in vitro* и *in vivo*.

Обработка частицами хитозана в сочетании с эфирными маслами *Zataria multiflora* и *Cinnamomum zeylanicum* способствовала ингибированию размно-

жения серой гнили на клубнике, особенно *B. cinerea* [53]. В 2022 г. Chun Yang с соавторами [54] при изучении покрытия на основе хитозана с высоким содержанием фенольных экстрактов (куркума и зеленый чай) на клубнике установили ингибирование пролиферации *B. cinerea* в течение 7 дней хранения при 20 °С.

Natalia Ferrao Castelo Branco Melo с соавторами [55] подготовили и оценили покрытия со съедобными наночастицами хитозана в качестве возможной обработки для улучшения послеуборочного качества винограда. Установлено, что покрытия съедобными наночастицами хитозана ингибировали процесс дыхания винограда и незначительно снижали потерю массы грозди.

Недавние исследования показали, что гель алоэ вера, обладающий пленкообразующими свойствами, легко наносится, обладает противогрибковым и противомикробным действием и действует как естественный барьер для влаги и воздуха [56, 57]. Покрытия хитозаном на основе бананового крахмала с различными концентрациями геля алоэ вера показывают, что наличие геля значительно снижает грибковую гниль, увеличивая срок хранения клубники до 15 дней, на 5 % меньшую потерю массы по сравнению с непокрытыми плодами, сохраняя при этом их цвет и твердость. Положительные результаты объясняются процессом «сшивания» между молекулами геля и крахмала [58]. Показано значительное снижение старения плодов клубники и потери массы при сохранении цвета и консистенции ягоды при их покрытии хитозаном совместно с пчелиным воском [59].

Успешно используются при получении покрытий и производные целлюлозы. Roberta Passafiume с соавторами [60] проанализировали влияние трех типов съедобных покрытий на основе геля алоэ вера, геля алоэ вера с гидроксипропилметилцеллюлозой и геля алоэ вера с эфирным маслом лимона на качество свежесрезанного киви. В случае использования покрытий на основе геля алоэ вера и геля алоэ вера с эфирным маслом лимона качество киви Хэйворд было на высоком уровне. Для сохранения томатов черри и винограда съедобная оболочка на основе изолята соевого белка, гидроксипропилметил целлюлозы и глицерина показала значительно более низкие показатели потери массы [61, 62], улучшение качества при транспортировке и хранении [63]. Биопокрытия на основе целлюлозы сохраняют питательные качества и ингибируют микробную пролиферацию на дыне, клубнике, яблоках, не оказывая негативного влияния на органолептические характеристики [64–67].

Для увеличения срока хранения фруктов во многих странах распространен способ применения озона с использованием озонаторов. Озон широко используется в качестве противомикробного агента. Помимо антимикробной активности в отношении широкого спектра микроорганизмов озон может разрушать пестициды и химические остатки и превращать небioresлагаемые органические материалы вioresлагаемые формы [68, 69]. Благодаря быстрому разложению до кислорода и тому, что он не оставляет следов на обработанных продуктах, его применение

в пищевой промышленности разрешено органической сертификацией [69]. Озон используют в целях сохранения пищевых продуктов, продления срока годности, стерилизации оборудования и устранения нежелательных запахов как при хранении, так и при транспортировке [70, 71].

Для послеуборочной обработки свежих плодов и овощей озон может использоваться либо в качестве воздушной, либо в качестве водной обработки перед хранением; или в качестве непрерывного или прерывистого компонента атмосферы во время хранения или транспортировки [72–75]. При проведении исследований было обнаружено, что чувствительность к озону варьируется в зависимости от типа плода и сорта, а также степени зрелости [76]. Обработку фруктов озонозодной смесью проводят трехкратно не менее 3 ч при температуре 12–18 °С и относительной влажности 40–80 % до достижения концентрации 35 мг/м³. Обработку проводят в соответствии с длительностью хранения продукции [77].

Значительное количество исследований по влиянию озона проведено на столовом винограде. В целом применение озона при хранении столового винограда было эффективным против нативной поверхностной микрофлоры, но неэффективным, когда микроорганизмы были инокулированы или уже укоренились на ягодах. В таком случае на различия в эффективности дезинфицирующей обработки может влиять отсутствие конкурентной микрофлоры и более высокая микробная нагрузка целевых патогенов при искусственной инокуляции плодов [69].

В ранних исследованиях было обнаружено, что обработка озоном 0,5 ppm подавляет рост поверхностной плесени после семи дней хранения при 15,6 °С, но она не была эффективна для борьбы с гнилью, вызванной *B. cinerea*, на инокулированном столовом винограде сортов Томпсон бессемянный и Токай [78]. Palou с соавторами [75] продемонстрировали, что интенсивность развития серой гнили не снижалась при воздействии 0,3 ppm озона в течение семи недель хранения в холодильнике на инокулированном столовом винограде Томпсон бессемянный. При этом увеличение интенсивности распространения и развития грибка были предотвращены, что может быть полезно для предотвращения распространения устойчивых к фунгицидам штаммов патогенов.

Однако в серии экспериментов, проведенных Sarig с соавторами [79], было обнаружено, что дозировка 8 мг озона в мин эффективно уничтожает местные популяции плесени, дрожжей и бактерий на винограде сортов Альфонс Лавалле и Томпсон бессемянный после 20 и 40 мин воздействия соответственно. Применение озона в течение 30–40 мин также было достаточным для устранения гниения, вызванного *Rhizopus stolonifer*, в инокулированном винограде. Кроме того, озон стимулировал выработку ресвератрола и птеростильбена, которые вместе с прямым фунгицидным действием газа способствовали повышению эффективности озона для контроля за процессом гниения [79]. Аналогичные результаты получены по винограду сорта Наполеон, подвергав-

шегося периодическим обработкам озоном при хранении в холодильнике: отмечено увеличение общего содержания стильбеноидов, в основном ресвератрола и пицеидов; у винограда сорта Осенний бессемянный отмечено увеличение полифенолов на 22,8 % [80, 81].

Исследуя влияние озона на физико-химические и органолептические показатели и антиоксидантные соединения столового винограда, Palou с соавторами [75] установили, что после четырех недель хранения при 5 °С и одной недели при 20 °С виноград сорта Флэйм бессемянный, обработанный 0,3 ppm озона, не имел видимых повреждений в тканях, и потеря массы грозди была одинаковой как в непрерывном или прерывистым 2 ppm озона в течение 30 дней хранения при 5 °С были получены Saucela и др. [82]. Однако, при увеличении сроков хранения (до 72 суток) применение озона индуцировали значительное увеличение потери массы грозди по сравнению с контрольной группой, хранящейся в условиях воздушной среды.

Artes-Hernandez с соавторами [80] определили, что ни прерывистое, ни непрерывное воздействие озона (8 ppm озона, применяемых в течение 30 мин каждые 2,5 ч и 0,1 ppm газа соответственно) не влияли на физико-химические качества столового винограда сорта Наполеон в течение 38 дней хранения при 0 °С и 6 дней срока хранения при 15 °С на воздухе. По сравнению с контролем были зарегистрированы лишь незначительные изменения значений, характеризующих опытные образцы по цвету, твердости, общему содержанию сухих веществ, pH и кислотности. Тем не менее сильное побурение гребней было обнаружено у винограда, подвергнувшегося шоковой обработке озоном, и это было связано с низкой относительной влажностью, достигнутой в холодильной камере. Аналогичные результаты были получены в отношении физико-химических характеристик столового винограда Осенний бессемянный, хранившегося в течение 60 дней при температуре 0 °С и относительной влажности 90 % и подвергнувшегося воздействию озона при непрерывном или периодическом применении. У обоих сортов потеря массы и гниение, вызванные *B. cinerea*, были одинаковыми в винограде, обработанном озоном, и в контрольных образцах [80, 81, 83].

Исследования, проводимые на сорте винограда Осенний бессемянный, показали, что при постоянном воздействии 0,1 ppm озона в течение двух месяцев при 0 °С и относительной влажности 90 % содержание общего сахара и органических кислот по сравнению с исходными показателями не изменялось. Кроме того, эти ягоды получили более высокие органолептические оценки (зеленый гребень, консистенция и внешний вид), чем контрольные образцы [83].

Таким образом, можно утверждать, что краткосрочное послеуборочное воздействие озона на виноград может быть альтернативой SO₂ при хранении в холодильнике, поскольку оно эффективно контролирует гниение и сохраняет качество и свежесть обработанных плодов в течение девяти недель при 0 °С.

В настоящее время в Российской Федерации и за рубежом ведутся успешные разработки в области облучения быстрыми электронами, СВЧ и УФ-лучами,

и их комбинациями для увеличения сроков хранения овощных культур. Радиационная обработка является одним из современных высокоэффективных технологий хранения, позволяющих максимально увеличить лежкоспособность плодовоовощной продукции [21, 84, 85].

Исследования показали, что для обработки фруктов и овощей дозы ионизирующего излучения (5–10 кГр), губительные для микрофлоры растительного сырья, непригодны, так как приводят к неблагоприятным физиолого-биохимическим, функциональным изменениям и к снижению устойчивости к патогенам. В связи с этим для повышения сохранности свежих фруктов рекомендован диапазон доз облучения 1–3 кГр [86]. Першаковой Т.В. с соавторами была выдвинута гипотеза о том, что варьирование частоты электромагнитного поля при постоянной силе тока в течение 30 мин может обеспечить больший процент гибели микроорганизмов, чем обработка при постоянной частоте, при этом частоту электромагнитного поля меняли через равные промежутки времени, а именно через каждые 10 мин. Максимальный процент гибели микроорганизмов достигается при последовательной обработке корнеплодов свеклы столовой при следующих параметрах: сила тока 15 А, частота 15 Гц – 10 мин; сила тока 15 А, частота 25 Гц – 10 мин; сила тока 15 А, частота 30 Гц – 10 мин [87].

Исследована эффективность влияния обработки γ -излучением и последующего холодильного хранения в условиях модифицированной газовой среды на изменение лежкоспособности ягод и плодов косточковых культур. Установлено, что применение комплексной технологии хранения сокращает потери и продлевает сроки хранения ягод на 1,5–2 недели, косточковых фруктов – на 3–4 недели и повышает микробиологическую безопасность продукции [88]. Разработана технология комплексного влияния режимов обработки свежих фруктов и овощей ионизирующими излучениями в сочетании с модифицированием состава газовой среды и условиями охлаждения для повышения микробиологической безопасности, продления сроков годности продукции в полимерных упаковках при сохранении высоких показателей качества. Доказана высокая эффективность обработки фруктов и овощей γ -лучами или ускоренными электронами (дозами 1–3 кГр) в комплексе с модифицированной газовой средой с повышенным содержанием CO₂ (5–15 %) и пониженным O₂ в условиях охлаждения (4–5 °С), направленная на сокращение потерь в 2–5 раз и продление сроков хранения при высоких показателях качества [89]. Разработаны и обобщены основные направления эффективного использования обработки ионизирующими излучениями (γ -лучи, ускоренные электроны) плодовоовощного сырья в целях оптимизации технологий хранения, повышения микробиологической безопасности, регулирования процессов созревания, сохранения высоких показателей пищевой ценности (Патент РФ 2400965. Способ хранения растительных продуктов; заявитель и патентообладатель Жиляков Е.В., 2009).

Перспективным элементом в технологии хранения является применение ультрафиолетового излучения в

области УФ-С (лучевая стерилизация) с диапазоном длины волн 100–280 нм, так как эта область имеет наиболее эффективное бактерицидное действие (Патент РФ 2204924. Способ предотвращения от порчи пищевых продуктов; заявитель и патентообладатель Гаспарян А.Р., Горелик С.А., 2003). Ультрафиолетовые лучи обладают высокой энергией и вызывают фотохимические изменения в поглощающих их молекулах субстрата и клетках микроорганизмов. Наибольшим бактерицидным действием обладают лучи с длиной волны 250–260 нм. Эффективность воздействия УФ-лучей на микроорганизмы зависит от дозы облучения.

Многочисленные исследования подтверждают эффективность применения УФ-С излучения для обработки овощей и фруктов с целью увеличения срока их хранения и снижения риска заболеваний [90, 91]. В своих исследованиях Пражарати с соавторами обработку УФ-С использовали как альтернативу обычным дезинфицирующим средствам из-за его способности повреждать ДНК и РНК микроорганизмов [92].

В Австралии провели исследование воздействия УФ-С на персидский лайм (*Citrus latifolia*) во время хранения. Результаты показали, что при обработке УФ-С сохранился зеленый цвет кожуры лайма после 28 дней хранения. Обработка УФ-С поддерживала низкую выработку этилена и низкую интенсивность дыхания во время хранения. Плоды лайма, подвергшиеся воздействию УФ-С, имели индекс приемлемости на уровне 60 % после хранения, в то время как необработанные контрольные плоды сохраняли приемлемость на уровне 39 %. В целом обработка УФ-С не повлияла на потерю веса плодов, массовую концентрацию сахаров и кислот во время хранения [93].

Турецкие ученые исследовали влияние обработки УФ-С на качество ягод столового винограда сорта Альфонс Лавалле при хранении в холодильнике. Обработка позволила сохранить визуальное качество ягод, а также консистенцию кожицы и мякоти ягод. В сусле ягод, подвергнутых обработке УФ-С, было отмечено более высокое содержание антиоксидантов и фенольных веществ [94].

Было исследовано влияние УФ-С на физико-химические свойства и бактериальное разнообразие свежесрезанной капусты в течение 12 дней хранения при температуре 5 °С. После облучения снизилась потеря массы свежесрезанной капусты при хранении, а также увеличилось содержание антиоксидантных компонентов, таких как общие фенолы, аскорбиновая кислота и малоновый диальдегид [95].

Оценена зависимость между продолжительностью ультрафиолетового облучения и комнатной температурой хранения на частоту дыхания, потерю веса и изменение цвета лука-шалота во время хранения. Результаты показали, что сочетание обработки ультрафиолетовым излучением и хранения в помещении при низкой температуре способно подавлять частоту дыхания ($p < 0,05$) и потерю веса лука-шалота во время хранения в течение 12 недель ($p < 0,05$). Установлено, что на цвет кожуры лука-шалота существенно влияла комнатная температура хранения, при этом обработка УФ не оказывала существенного влияния, что

позволяет считать этот метод пригодным для сохранения качества лука-шалота во время хранения [96].

Таким образом, учеными выявлен положительный эффект от применения ультрафиолетового бактерицидного излучения на качество растительной продукции и длительность хранения.

Закключение

Всесторонний обзор современных исследований показывает, что в настоящее время разработано и внедрено множество передовых технологий, направленных на сохранение плодов и овощей длительный период. Кроме того, ведутся постоянные исследования по поиску более натуральных консервантов с отличными антиоксидантными и антимикробными свойствами, поскольку они безопасны для употребления. Предлагаемые концепции представляют собой инновационные и экологически чистые подходы к сохранению свежести фруктов и овощей. Эти экологичные решения не только продлевают срок годности продуктов, но и снижают зависимость от традиционной упаковки, которая часто способствует загрязнению окружающей среды.

Таким образом, анализ современных научных публикаций свидетельствует о том, что разработка новых и модификация существующих методов технологических процессов хранения плодоовощной продукции на основе физических методов обработки, обладающих бактерицидным действием, позволяет сделать вывод об актуальности разработки новых технологий хранения с применением комплекса физических приемов, в частности, ультрафиолетового облучения.

Источник финансирования

Исследования выполнены в рамках государственного задания № FNZM-2024-000.

Financing source

The research was conducted under public assignment No. FNZM-2024-000.

Конфликт интересов

Не заявлен.

Conflict of interests

Not declared.

Список литературы / References

- Sridhar A., Ponnuchamy M., Kumar P.S., Kapoor A. Food preservation techniques and nanotechnology for increased shelf life of fruits, vegetables, beverages and spices: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2021;19:1715-1735. DOI 10.1007/s10311-020-01126-2.
- Глазков С.В., Копцев С.В., Лесникова Н.А., Богданова В.В., Володарская Т.К. Современные инновационные технологии хранения свежих фруктов и овощей и продуктов их переработки (обзор) // *Овощи России*. 2018;5(43):84-89. DOI 10.18619/2072-9146-2018-5-84-89. Glazkov S.V., Koptsev S.V., Lesnikova N.A., Bogdanova V.V. Modern innovative storage technologies for processed fruit and vegetable products (review). *Vegetables of Russia*. 2018;5(43):84-89. DOI 10.18619/2072-9146-2018-5-84-89 (*in Russian*).
- Ungureanu C., Tihan G., Zgârian R., Pandealea G. Bio-coatings for preservation of fresh fruits and vegetables. *Coatings*. 2023;13:1420. DOI 10.3390/coatings13081420.
- Jaya Shankar T. Introductory chapter: food processing, preservation, and packaging – a brief overview. *Food Processing and Packaging Technologies*. 2023:1-11. DOI 10.5772/intechopen.110229.

5. Cocetta G., Natalini A. Ethylene: management and breeding for postharvest quality in vegetable crops. A review. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:968315. DOI 10.3389/fpls.2022.968315.
6. Fonseca S.C., Oliveira F.A.R., Brecht J.K. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering*. 2002;52:99-119. DOI 10.1016/S0260-8774(01)00106-6.
7. Maduwanthi S.D.T., Marapana R. Induced ripening agents and their effect on fruit quality of banana. *International Journal of Food Science*. 2019;2520179. DOI 10.1155/2019/2520179.
8. Palumbo M., Attolico G., Capozzi V., Cozzolino R., Corvino A., de Chiara M.L.V., Pace B., Pelosi S., Ricci I., Romaniello R., Cefola M. Emerging postharvest technologies to enhance the shelf-life of fruits and vegetables: an overview. *Foods*. 2022;11:3925. DOI 10.3390/foods11233925.
9. Lufu R., Ambaw A., Opara U.L. Water loss of fresh fruit: influencing pre-harvest, harvest and postharvest factors. *Scientia Horticulturae*. 2020;272(102):109519. DOI 10.1016/j.scienta.2020.109519.
10. Pereira R.N., Teixeira J.A., Vicente A.A., Cappato L.P., Ferreira M., Rocha R.S. Ohmic heating for the dairy industry: a potential technology to develop probiotic dairy foods in association with modifications of whey protein structure. *Current Opinion in Food Science*. 2018;22:95-101. DOI 10.1016/j.cofs.2018.01.014.
11. Bialkowska A., Majewska E., Olczak A., Twarda-clapa A. Ice binding proteins: diverse biological roles and applications in different types of industry. *Biomolecules*. 2020;10(2):274. DOI 10.3390/biom100202740.
12. Said M.I. Role and function of gelatin in the development of the food and non-food industry: a review. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2020;4921):012086. DOI 10.1088/1755-1315/492/1/012086.
13. Jayasena D.D., Kim H.J., Yong H.I., Park S., Kim K., Choe W., Jo C. Flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma treatment of pork butt and beef loin: effects on pathogen inactivation and meat-quality attributes. *Food Microbiology*. 2015;46:51-57. DOI 10.1016/j.fm.2014.07.009.
14. Saravanan A., Kumar P.S., Hemavathy R.V., Jeevanantham S., Kamalesh R., Sneha S., Yaashikaa P.R. Methods of detection of food-borne pathogens: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2020;19:189-207. DOI 10.1007/s10311-020-01072-z.
15. Strategies to reduce post-harvest losses for fruits and vegetables. <http://www.postharvestproject.com/uploads/outputs/8fa991f1-6260-45e4-95b0-438127a4deb0.pdf> (date of access: 14.07.2023).
16. Шишкина Н.С. Совершенствование технологии хранения плодовоовощной продукции // Научно-практическое обеспечение холодильной промышленности. 2015:327-335. Shishkina N.S. Improving the technology of storing fruit and vegetable products // *Scientific and Practical Support for Refrigeration Industry*. 2015:327-335 (in Russian).
17. Балабанов В.Н., Куреткова Л.Н. Стабилизация условий хранения плодов и овощей при создании регулируемых газовых сред // Актуальные проблемы современной науки. 2017;3(94):284-286. Balabanov V.N., Kuretkova L.N. Stabilization of storage conditions for fruits and vegetables when creating regulated gas media. *Current Problems of Modern Science*. 2017;3(94):284-286 (in Russian).
18. Причко Т.Г., Смелик Т.Л., Германова М.Г. Сохранение качественных показателей плодов яблони, обусловленных сортовыми особенностями и составом среды в регулируемой атмосфере // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2019;23:253-258. DOI 10.30679/2587-9847-2019-23-253-258. Prichko T.G., Smelik T.L., Germanova M.G. Preservation of apple fruit's quality indicators due to varietal features and medium composition in a controlled atmosphere. *Scientific Works of the North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking*. 2019;23:253-258. DOI 10.30679/2587-9847-2019-23-253-258 (in Russian).
19. Кунина В.А., Платонова Н.Б., Неводов П.А., Москвичева В.В. Анализ способов обработки плодовых культур перед закладкой на хранение (литературный обзор) // Субтропическое и декоративное садоводство. 2023;86:35-53. DOI 10.31360/2225-3068-2023-86-35-53. Kunina V.A., Platonova N.B., Nevodov P.A., Moskvichova V.V. Analysis for fruit crops treatment methods before storing (literature review). *Subtropical and Ornamental Horticulture*. 2023;86:35-53. DOI 10.31360/2225-3068-2023-86-35-53 (in Russian).
20. Першакова Т.В., Кабалина Д.В. Современные технологии хранения фруктов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017;131:1056-1066. DOI 10.21515/1990-4665-131-087. Pershakova T.V., Kabalina D.V. Ways to provide stability of raw material during storage. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2017;131:1056-1066. DOI 10.21515/1990-4665-131-087 (in Russian).
21. Шишкина Н.С., Карастоянова О.В., Шаталова Н.И., Борченкова Л.А., Степанищева Н.М., Глазков С.В. Исследование и разработка комплексной технологии холодильного хранения овощей и фруктов с применением физических методов антисептирования // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции. 2017:474-478. Shishkina N.S., Karastoyanova O.V., Shatalova N.I., Borchenkova L.A., Stepanishcheva N.M., Glazkov S.V. Research and development of an integrated technology for refrigerating vegetables and fruits using physical antiseptic methods. *Innovative Research and Development for Scientific Support of Production and Storage of Environmentally Safe Agricultural and Food Products*. 2017:474-478 (in Russian).
22. Першакова Т.В., Лисовой В.В., Купин Г.А., Алешин В.Н., Панасенко Е.Ю., Викторова Е.П. Способы обеспечения стабильного качества растительного сырья в процессе хранения с применением биопрепаратов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016;117:540-550. Pershakova T.V., Lisovoy V.V., Kupin G.A., Aleshin V.N., Panasenko E.Yu., Victorova E.P. Ways to ensure consistent quality of vegetable raw materials in the process of using biopreparations in storing. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2016;117:540-550 (in Russian).
23. Неменуцкая Л.А., Степанищева Н.М., Соломатин Д.М. Современные технологии хранения и переработки плодовоовощной продукции. М.: ФГНУ «Росинформагротех». 2009:1-170. Neminuschaya L.A., Stepanishcheva N.M., Solomatin D.M. Modern technologies of storage and processing of fruit and vegetable products. M.: FSSU Rosinformagrotech. 2009:1-170 (in Russian).
24. Лисовой В.В., Кабалина Д.В. Российский и зарубежный опыт применения биопрепаратов при хранении фруктов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017;134:205-217. DOI 10.21515/1990-4665-134-017. Lisovoy V.V., Kabalina D.V. Russian and foreign experience of the application of biopreparations in storage of fruits. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2017;134:205-217. DOI 10.21515/1990-4665-134-017 (in Russian).
25. Лисовой В.В., Викторова Е.П., Матвиенко А.Н. Технологии хранения сельскохозяйственной продукции растительного происхождения, разработанные учеными

- ФГБНУ КНИИХП // Научно-практическое обеспечение холодильной промышленности. 2015:302-305.
- Lisovoi V.V., Viktorova E.P., Matvienko A.N. Technologies for storing agricultural products of plant origin, developed by scientists of the FSBSI KSRICP// Scientific and Practical Support for the Refrigeration Industry. 2015:302-305 (in Russian).
26. Odetayo T., Tesfay S., Ngobese N.Z. Nanotechnology-enhanced edible coating application on climacteric fruits. *Food Science & Nutrition*. 2022;10(4):2149-2167. DOI 10.1002/fsn3.2557.
27. Samir A., Ashour F.H., Hakim A.A.A., Bassyouni M. Recent advances in biodegradable polymers for sustainable applications. *NPJ Mater. Degrad.* 2022;6(1):68. DOI 10.1038/s41529-022-00277-7.
28. Arshad M.S., Batool S.A. Natural antimicrobials, their sources and food safety. *Food Additives*. 2017;87:1. DOI 10.5772/intechopen.70197.
29. Gil M.I., Selma M.V., Suslow T., Jacxsens L., Uyttendaele M., Allende A. Pre- and postharvest preventive measures and intervention strategies to control microbial food safety hazards of fresh leafy vegetables. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2015;55(4):453-468. DOI 10.1080/10408398.2012.657808.
30. Hocking B., Tyerman S.D., Burton R.A., Gilliam M. Fruit calcium: transport and physiology. *Frontier in Plant Science*. 2016;7:569. DOI 10.3389/fpls.2016.00569.
31. Потепенко А.Ю., Ганич В.А. Роль кальция в хранении винограда // Агротехнологические и экологические аспекты развития виноградо-винодельческой отрасли. 2007:416-420.
Potapenko A.Yu., Ganich V.A. The role of calcium in grape storage. *Agrotechnological and Environmental aspects of the Development of the Grape and Wine Industry*. 2007:416-420 (in Russian).
32. Davarpanah S., Tehranifar A., Abadía J., Val J., Davarynejad G., Aran M., Khorassani R. Foliar calcium fertilization reduces fruit cracking in pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani). *Scientia Horticulturae*. 2018;230:86-91. DOI 10.1016/j.scienta.2017.11.023.
33. Cherviak S., Levchenko S., Boyko V., Belash D. The effect of aerosol treatment with calcium-based preparation on quality of table grape cultivar during storage. *E3S Web of Conferences*. 2021;232:03023. DOI 10.1051/e3sconf/202123203023.
34. Levchenko S., Boyko V., Belash D., Cherviak S., Romanov A. Post-harvest treatments with calcium-based bioactivators to preserve table grape quality (*Vitis vinifera* L) cv. Red Globe during storage. *E3SWebConf*. 2021;254:02004. DOI 10.1051/e3sconf/202125402004.
35. Гудковский В.А. Система сокращения потерь и сохранения качества плодов и винограда при хранении. Мичуринск: ФГБНУ «ВНИИС им. И.В. Мичурина». 1990:1-118.
Gudkovskiy V.A. System for reducing losses and maintaining the quality of fruits and grapes during storage. Michurinsk: FSBSI VNIIS named after I.V. Michurin. 1990:1-118 (in Russian).
36. Dordevic S., Dordevic D., Sedlacek P., Kalina M., Tesikova K., Antonic B., Tremlova B., Tremil J., Nejezchlebova M., Vapenka L. Rajchl A., Bulakova M. Incorporation of natural blueberry, red grapes and parsley extract by-products into the production of chitosan edible films. *Polymers*. 2021;13(19):3388. DOI 10.3390/polym13193388.
37. Zabot G.L., Schaefer Rodrigues F., Polano Ody L., Vinicius Tres M., Herrera E., Palacin H., Cordova-Ramos J.S., Best I., Olivera-Montenegro L. Encapsulation of bioactive compounds for food and agricultural applications. *Polymers*. 2022;14(19):4194. DOI 10.3390/polym14194194.
38. Munoz-Tebar N., Perez-Alvarez J.A., Fernandez-Lopez J., Viuda-Martos M. Chitosan edible films and coatings with added bioactive compounds: antibacterial and antioxidant properties and their application to food products: a review. *Polymers*. 2023;15(2):396. DOI 0.3390/polym15020396.
39. Sun X., Narciso J., Wang Z., Ference C., Bai J., Zhou K. Effects of chitosan-essential oil coatings on safety and quality of fresh blueberries. *Journal of Food Science*. 2014;79(5):M955-M960. DOI 10.1111/1750-3841.12447.
40. Khalifa I., Barakat H., El-Mansy H.A., Soliman S.A. Enhancing the keeping quality of fresh strawberry using chitosan-incorporated olive processing wastes. *Food Bioscience*. 2016;13(1):69-75. DOI 10.1016/j.fbio.2015.12.008.
41. Khan I., Tango C.N., Chelliah R., Oh D.H. Development of antimicrobial edible coating based on modified chitosan for the improvement of strawberries shelf life. *Food Science and Biotechnology*. 2019;28(4):1257-1264. DOI 10.1007/s10068-018-00554-9.
42. Zhang X., Ismail B.B., Cheng H., Jin T.Z., Qian M., Arabi S.A., Liu D., Guo M. Emerging chitosan-essential oil films and coatings for food preservation – a review of advances and applications. *Carbohydrate Polymers*. 2021;273(5):118616. DOI 10.1016/j.carbpol.2021.118616.
43. Zhang W., Lin M., Feng X., Yao Z., Wang T., Xu C. Effect of lemon essential oil-enriched coating on the postharvest storage quality of citrus fruits. *Food Science and Technology*. 2022;42(5):e125421. DOI 10.1590/fst.125421.
44. Maurya A., Prasad J., Das S., Dwivedy A.K. Essential oils and their application in food safety. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021;5:653420. DOI 10.3389/fsufs.2021.653420.
45. Shendurse A., Gopikrishna G., Patel A.C., Pandya A.J. Milk protein based edible films and coatings-preparation, properties and food applications. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*. 2018;8(2):219-226. DOI 10.1007/978-981-16-2383-7_11.
46. do Evangelho J.A., da Silva Dannenberg G., Biduski B., El Halal S.L.M., Kringel D.H., Gularte M.A., Fiorentini A.M., da Rosa Zavareze E. Antibacterial activity, optical, mechanical, and barrier properties of corn starch films containing orange essential oil. *Carbohydrate Polymers*. 2019;222:114981. DOI 10.1016/j.carbpol.2019.114981.
47. Diaz-Montes E., Castro-Munoz R. Edible films and coatings as food-quality preservers: an overview. *Foods*. 2021;10(2):249. DOI 10.3390/foods10020249.
48. Pham T.T., Nguyen L.L.P., Dam M.S., Baranyai L. Application of edible coating in extension of fruit shelf life: a review. *AgriEngineering*. 2023;5(1):520-536. DOI 10.3390/agriengineering5010034.
49. Emamifar A., Bavaisi S. Nanocomposite coating based on sodium alginate and nano-ZnO for extending the storage life of fresh strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2020;14(7):1012-1024. DOI 10.1007/s11694-019-00350-x.
50. Petriccione M., Mastrobuoni F., Pasquariello M.S., Zampella L., Nobis E., Capriolo G., Scortichini M. Effect of chitosan coating on the postharvest quality and antioxidant enzyme system response of strawberry fruit during cold storage. *Foods*. 2015;4:501-523. DOI 10.3390/foods4040501.
51. Jongsri P., Wangsomboondee T., Rojsitthisak P., Seraypheap K. Effect of molecular weights of chitosan coating on postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruit. *LWT*. 2016;73(1):28-36. DOI 10.1016/j.lwt.2016.05.038.
52. Tran V.T., Kingwascharapong P., Tanaka F., Tanaka F. Effect of edible coatings developed from chitosan incorporated with tea seed oil on Japanese pear. *Scientia Horticulturae*. 2021;288(2):110314. DOI 10.1016/j.scienta.2021.110314.
53. Mohammadi A., Hashemi M., Hosseini S.M. The control of Botrytis fruit rot in strawberry using combined treatments of Chitosan with *Zataria multiflora* or *Cinnamomum zeylanicum* essential oil. *Journal of Food Science and Technology*. 2015;52(11):7441-7448. DOI 10.1007/s13197-015-1871-7.
54. Yang C., Lu J.-H., Xu M.-T., Shi X.-C., Song Z.-W., Chen T.-M., Herrera-Balandrano D.D., Zhang Y.-J., Laborda P.,

- Shahriar M., Wang S-Y. Evaluation of chitosan coatings enriched with turmeric and green tea extracts on postharvest preservation of strawberries. *LWT*. 2022;163:113551. DOI 10.1016/j.lwt.2022.113551.
55. Castelo Branco Melo N.F., de Mendonga Soares B.L., Marques Diniz K., Ferreira Leal C., Canto D., Flores M.A.P., Henrique da Costa Tavares-Filho J., Galembeck A., Montenegro Stamford T.L., Montenegro Stamford-Arnaud T. Effects of fungal chitosan nanoparticles as eco-friendly edible coatings on the quality of postharvest table grapes. *Postharvest Biology and Technology*. 2018;139(1):56-66. DOI 10.1016/j.postharvbio.2018.01.014.
56. Chrysargyris A., Nikou A., Tzortzakis N. Effectiveness of Aloe Vera gel coating for maintaining tomato fruit quality. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 2016;44(3):203-217. DOI 10.1080/01140671.2016.1181661.
57. Nourozi F., Sayyari M. Enrichment of Aloe Vera gel with basil seed mucilage preserve bioactive compounds and postharvest quality of apricot fruits. *Scientia Horticulturae*. 2020;262:109041. DOI 10.1016/j.scienta.2019.109041.
58. Pinzon M.I., Sanchez L.T., Garcia O.R., Gutierrez R., Luna J.C., Villa C.C. Increasing shelf life of strawberries (*Fragaria ssp.*) by using a banana starch-chitosan-Aloe Vera gel composite edible coating. *International Journal of Food Science & Technology*. 2019;55(1):92-98. DOI 10.1111/ijfs.14254.
59. Velickova E., Winkelhausen E., Kuzmanova S., Alves V.D., Moldao-Martins M. Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv *Camarosa*) under commercial storage conditions. *LWT*. 2013;52(2):80-92. DOI 10.1016/j.lwt.2013.02.004.
60. Passafiume R., Gaglio R., Sortino G., Farina V. Effect of three different Aloe Vera gel-based edible coatings on the quality of fresh-cut "Hayward" kiwifruits. *Foods*. 2020;9:939. DOI 10.3390/foods9070939.
61. Frassinetti S., Castagna A., Santin M., Pozzo L., Baratto I., Longo V., Ranieri A. Gelatin-based coating enriched with blueberry juice preserves the nutraceutical quality and reduces the microbial contamination of tomato fruit. *Natural Product Research*. 2021;35(7):6088-6092. DOI 10.1080/14786419.2020.1824224.
62. Zhang T., Yun Y., Chu M., Bai X., Sun J., Zhang Y., Wang L. Coating of fruit with an edible soybean protein isolate film doped with hydroxypropyl methyl cellulose for improved preservation. *Bio Resources*. 2022;17(2):2563-2575. DOI 10.15376/biores.17.2.2563-2575.
63. Pirozzi A., Del Grosso V., Ferrari G., Donsi F. Edible coatings containing oregano essential oil nanoemulsion for improving postharvest quality and shelf life of tomatoes. *Foods*. 2020;9(11):1605. DOI 10.3390/foods9111605.
64. Poverenov E., Rutenberg R., Danino S., Horev B., Rodov V. Gelatin-chitosan composite films and edible coatings to enhance the quality of food products: layer-by-layer vs. blended formulations. *Food and Bioprocess Technology*. 2014;7(11):3319-3327. DOI 10.1007/s11947-014-1333-7.
65. Agyei D., Pan S., Acquah C., Danquah M.K. Bioactivity profiling of peptides from food proteins. *Soft chemistry and food fermentation*. 2017:49-77. DOI 10.1016/B978-0-12-811412-4.00003-5.
66. Liu T., Li J., Tang Q., Qiu P., Gou D., Zhao J. Chitosan-based materials: an overview of potential applications in food packaging. *Foods*. 2022;11(10):1490. DOI 10.3390/foods11101490.
67. Mendes-Oliveira G., Gu G., Luo Y., Zografos A., Minas I., Nou X. Edible and water-soluble corn zein coating impregnated with nisin for *Listeria monocytogenes* reduction on nectarines and apples. *Postharvest Biology and Technology*. 2022;185(1):111811. DOI 10.1016/j.postharvbio.2021.111811.
68. Ong K.C., Cash J.N., Zabik M.J., Siddiq M., Jones A.L. Chlorine and ozone washes for pesticide removal from apples and processed apple sauce. *Food Chemistry*. 1996;55(2):153-160. DOI 10.1016/0308-8146(95)00097-6.
69. Horvitz S., Cantalejo M.J. Application of ozone for the postharvest treatment of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2014;54(3):312-39. DOI 10.1080/10408398.2011.584353.
70. Zhang L., Lu Z., Yu Z., Gao X. Preservation of fresh-cut celery by treatment of ozonated water. *Food Control*. 2005;16(3):279-283. DOI 10.1016/j.foodcont.2004.03.007.
71. Dennis R., Cashion A., Emanuel S., Hubbard D. Ozone gas: scientific justification and practical guidelines for improvised disinfection using consumer-grade ozone generators and plastic storage boxes. *The Journal of Science and Medicine*. 2020;2(1):1-23. DOI 10.37714/josam.v2i1.35.
72. Graham D.M. Use of ozone for food processing. *Food Technology*. 1997;51:72-75.
73. Guzel-Seydim Z.B., Green A.K., Seydim A.C. Use of ozone in the food industry. *LWT*. 2004;37(4):453-460. DOI 10.1016/j.lwt.2003.10.014.
74. Crowe K.M., Bushway A.A., Bushway R.J., Davis-Dentici K., Hazen R.A. A comparison of single oxidants versus advanced oxidation processes as chlorine-alternatives for wild blueberry processing (*Vaccinium angustifolium*). *International Journal of Food Microbiology*. 2007;116(1):25-31. DOI 10.1016/j.ijfoodmicro.2006.12.027.
75. Palou L., Crisosto C.H., Smilanick J.L., Adaskaveg J.E., Zoffoli J.P. Effects of continuous 0.3 ppm ozone exposure on decay development and physiological responses of peaches and table grapes in cold storage. *Postharvest Biology and Technology*. 2002;24(1):39-48. DOI 10.1016/S0925-5214(01)00118-1.
76. Rice R.G., Farquhar J.W., Bollyky L.J. Review of the applications of ozone for increasing storage times of perishables foods. *Ozone: Science and Engineering*. 1982;4(3):147-163.
77. Пугач С.Г. Применение озона в хранении овощей и фруктов // Овощи и фрукты. 2014;12:56-60. Pugach S.G. The use of ozone in the storage of vegetables and fruits. *Vegetables and Fruits*. 2014;12:56-60 (*in Russian*).
78. Spalding D.H. Effects of ozone atmospheres on spoilage of fruits and vegetables after harvest. *Marketing Research Report*. 1968;801:1-9. DOI 10.5962/bhl.title.62986.
79. Sarig P., Zahavi T., Zutkhi Y., Yannai S., Lisker N., Ben-Arie R. Ozone for control of post-harvest decay of table grapes caused by *Rhizopus stolonifer*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 1996;48(6):403-415. DOI 10.1006/pmpp.1996.0032.
80. Artes-Hernandez F., Artes F., Tomas-Barberan F.A. Quality and enhancement of bioactive phenolics in cv. 'Napoleon' table grapes exposed to different postharvest gaseous treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003;51(18):5290-5295. DOI 10.1021/jf030037d.
81. Artes-Hernandez F., Aguayo E., Artes F., Tomas-Barberan F.A. Enriched ozone atmosphere enhances bioactive phenolics in seedless table grapes after prolonged shelf life. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2007;87(5):824-831. DOI 10.1002/jsfa.2780.
82. Cayuela J.A., Vazquez A., Perez A.G., Garcia J.M. Control of table grapes postharvest decay by ozone treatment and resveratrol induction. *Food Science and Technology International*. 2009;15(5):495-502. DOI 10.1177/1082013209350539.
83. Artes-Hernandez F., Aguayo E., Artes F. Alternative atmosphere treatments for keeping quality of 'Autumn seedless' table grapes during long term cold storage. *Postharvest Biology and Technology*. 2004;31(1):59-67. DOI 10.1016/S0925-5214(03)00116-9.
84. Завьялов М.А., Шишкина Н.С., Карастоянова О.В., Степанищева Н.М., Шаталова Н.И., Борченкова Л.А., Кухто В.А., Левшенко М.Т., Филиппович В.П. Использование комбинированного воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты, ультрафиолетового излучения и

- озона (СВЧ-УФ-О3) при подготовке растительного сырья к замораживанию // Холодильная техника. 2018;2:54-58. Zavyalov M.A., Shishkina N.S., Karastoyanova O.V., Stepanischeva N.M., Shatalova N.I., Borchenkova L.A., Kukhto V.A., Levshenko M.T., Filippovich V.P. The use of combined effects of electromagnetic fields of ultrahigh frequency, ultraviolet radiation and ozone (microwave-UV-O3) in the preparation of plant materials for freezing. Refrigeration Equipment. 2018;2:54-58 (in Russian).
85. Грачёва А.Ю., Илюхина Н.В., Калинина Ж.А., Прокопенко А.В., Филиппович В.П. Перспективность применения ионизирующего облучения на микробиологическую безопасность пищевой продукции // Лазерные, плазменные исследования и технологии ЛаПлаз-2017. 2017:86-87. Gracheva A.Yu., Ilyukhina N.V., Kalinina Zh.A., Prokopenko A.V., Filippovich V.P. The prospects of using ionizing radiation on the microbiological safety of food products. Laser, plasma research and technologies LaPlaz-2017. 2017:86-87 (in Russian).
86. Шишкина Н.С., Карастоянова О.В., Федянина Н.И., Борченкова Л.А. Исследование влияния обработки ионизирующими излучениями на лежкоспособность фруктов при холодильном хранении с использованием модифицированной газовой среды // Холодильная техника. 2018;12:42-47. Shishkina N.S., Karastoyanova O.V., Fedyanina N.I., Borchenkova L.A. Study of the influence of treatment by ionizing radiation on fruit keeping quality during cold storage under modified atmosphere conditions. Refrigeration Equipment. 2018;12:42-47 (in Russian).
87. Першакова Т.В., Купин Г.А., Михайлюта Л.В., Панасенко Е.Ю., Лисовой В.В., Викторова Е.П. Исследование влияния электромагнитного поля на изменение микробиальной обсемененности растительного сырья в процессе хранения // Успехи современного естествознания. 2016;5:74-78. Pershakova T.V., Kupin G.A., Mikhaylyuta L.V., Panasenko E.Yu., Lisovoy V.V., Viktorova E.P. Study of the effect of electromagnetic fields on the change of microbial contamination of vegetable raw materials during storage. Advances in Current Natural Sciences. 2016;5:74-78 (in Russian).
88. Шишкина Н.С., Карастоянова О.В., Шаталова Н.И., Левшенко М.Т., Коровкина Н.В. Эффективная комплексная технология хранения фруктов и овощей с применением ионизирующих излучений и модифицированием состава газовой среды // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы. 2018:318-321. Shishkina N.S., Karastoyanova O.V., Shatalova N.I., Levshenko M.T., Korovkina N.V. Effective complex technology of storage of fruits and vegetables with application of ionizing radiations and modification of the composition of the gas media. Radiation Technologies in Agriculture and Food Industry: Condition and Prospects. 2018:318-321 (in Russian).
89. Петров А.Н., Шишкина Н.С., Шаталова Н.И. Перспективные направления применения ионизирующих излучений для оптимизации технологии хранения и переработки плодовоошной продукции // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы. 2018:222-224. Petrov A.N., Shishkina N.S., Shatalova N.I. Promising directions of application of ionising radiation for optimization of the technology of storage and processing of horticultural products. Radiation Technologies in Agriculture and Food Industry: Condition and Prospects. 2018:222-224 (in Russian).
90. Русанова Л.А. Современные способы хранения плодов, овощей, ягод и винограда // Сфера услуг: инновации и качество. 2013;13:11. Rusanova L.A. Modern methods of storing fruits, vegetables, berries and grapes. Sector of Service: Innovations and Quality. 2013;13:11 (in Russian).
91. Матвиенко А.Н., Лисовой В.В., Казиминова М.А., Схалыхов А.А. Технологии хранения фруктов и овощей для производства консервированной продукции // Новые технологии. 2014;1:22-28. Matvienko A.N., Lisovoy V.V., Kazimirova M.A., Skhalyakhov A.A. Technologies of fruit and vegetable storage for the production of canned foods. New Technologies. 2014;1:22-28 (in Russian).
92. Prajapati U., Asrey R., Varghese E., Singh A.K., Singh M.P. Effects of postharvest ultraviolet-C treatment on shelf-life and quality of bitter melon fruit during storage. Food Package. Shelf Life. 2021;28(4):100665. DOI 10.1016/j.fpsl.2021.100665.
93. Pristijono P., Bowyer M.C., Papoutsis K., Scarlett C.J., Vuong Q.V., Stathopoulos C.E. Improving the storage quality of Tahitian limes (*Citrus latifolia*) by pre-storage UV-C irradiation. Journal of Food Science and Technology. 2019;56(3):1438-1444. DOI 10.1007/s13197-019-03623-x.
94. Sabir F., Sabir A., Unal S. Quality response of minimally processed 'Alphonse Lavallée' table grapes during cold storage as influenced by preharvest sustained deficit irrigation and postharvest UV-C irradiation. Erwerbs-Obstbau. 2021;63(1):141-148. DOI 10.1007/s10341-021-00592-4.
95. Zhang S., Kuramoto R., Wu W., Hamanaka D. Effects of ultraviolet irradiation on quality and bacterial diversity of fresh-cut cabbage during storage. Food Science and Technology Research. 2024;30(4):447-456. DOI 10.3136/fstr.FSTR-D-23-00236.
96. Fauziah P.Y., Bintoro N., Karyad J.N.W. Effect of ultraviolet-C treatments and storage room condition on the respiration rate, weight loss, and color change of Shallots (*Allium ascalonicum* L.) during storage. IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2020;449(1):012021. DOI 10.1088/1755-1315/449/1/012021.

Информация об авторах

Светлана Валентиновна Левченко, д-р с.-х. наук, ученый секретарь, гл. науч. сотр. лаборатории хранения винограда; e-мейл: svelevchenko@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5423-0520>;

Александр Вадимович Романов, мл. науч. сотр. лаборатории хранения винограда; e-мейл: cod7-4orever@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9999-2657>;

Владимир Александрович Бойко, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. лаборатории хранения винограда; e-мейл: vovhim@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2401-7531>;

Дмитрий Юрьевич Белаш, мл. науч. сотр. лаборатории хранения винограда; e-мейл: dima-244@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3525-2948>.

Information about authors

Svetlana V. Levchenko, Dr. Agric. Sci., Scientific Secretary, Chief Staff Scientist, Laboratory of Grape Storage; e-mail: svelevchenko@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5423-0520>;

Aleksandr V. Romanov, Junior Staff Scientist, Laboratory of Grape Storage; e-mail: cod7-4orever@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9999-2657>;

Vladimir A. Boiko, Cand. Agric. Sci., Senior Staff Scientist, Laboratory of Grape Storage; e-mail: vovhim@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2401-7531>;

Dmitriy Yu. Belash, Junior Staff Scientist, Laboratory of Grape Storage; e-mail: dima-244@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3525-2948>.

Статья поступила в редакцию 20.09.2024, одобрена после рецензии 03.10.2024, принята к публикации 20.11.2024.