

© Тришканева М.В., Тюрина С.Б., Федянина Н.И., Мусатова А.А., 2019

УДК 664.8.022.6

Влияние УФ-излучения на изменение свойств растительного сырья и его хранимостпособность. Обзор

М.В. Тришканева, С.Б. Тюрина, Н.И. Федянина, А.А. Мусатова

ВНИИ технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, ул. Школьная, д. 78, г. Видное, Московская обл., 142703, Российская Федерация

Резюме: Представлен анализ влияния различных диапазонов ультрафиолетового излучения (УФ-излучение) на физико-химические, органолептические, микробиологические свойства отдельных видов фруктов, овощей, грибов и изменение их хранимостспособности. Приводятся результаты экспериментальных работ и патентов, в которых описаны существенные изменения свойств и состава растительных объектов после обработки УФ-излучением: увеличение концентрации фенольных соединений, антоцианов, кверцетингликозидов, хлорогеновой и аскорбиновой кислот, рост антиоксидантной активности, снижение микробиологической обсемененности. Существующие данные позволяют делать выводы об эффективности применения УФ-излучения и как самостоятельного вида обработки продукции при хранении и переработке растительного сырья, и в составе комбинированных технологий с применением и других физических методов обработки (СВЧ-излучения, обработки быстрыми электронами, γ -излучения, обработки ультразвуком, температурного воздействия и др.). Эффективность применения УФ-излучения существенно зависит от его диапазона и режимов обработки. УФ-излучение наряду со стерилизующим эффектом проявляет термический эффект в отношении обрабатываемых объектов. Так, при длительном воздействии УФ-излучения в результате теплового нагрева происходит значимое отепление, учитывать которое необходимо при обработке растительных объектов, имеющих температуру ниже температуры окружающей среды, что потенциально может приводить к изменению хранимостспособности обработанного объекта. Рассмотрены вопросы выбора оптимальных режимов обработки растительных объектов УФ-излучением (доза излучения и время обработки), способных повысить хранимостспособność фруктов, овощей, грибов и других видов растительного сырья с сохранением физико-химических и органолептических показателей качества. Сделан вывод, что эффективность дозы излучения определяется плотностью потока мощности излучения, параметрами источников излучения и их расположением относительно обрабатываемых объектов. Определение оптимальных режимов обработки (доза излучения и время обработки) растительного сырья УФ-излучением в зависимости от поставленных целей представляет собой важную научную и технологическую задачу.

Ключевые слова: ультрафиолетовое излучение, диапазоны УФ-А, УФ-В, УФ-С, растительное сырье, физико-химические свойства, хранимостспособность, режимы обработки, доза излучения, плотность потока мощности.

Для цитирования: Тришканева М.В., Тюрина С.Б., Федянина Н.И., Мусатова А.А. Влияние УФ-излучения на изменение свойств растительного сырья и его хранимостспособность. Обзор // Здоровье населения и среда обитания. 2019. № 12 (321). С. 36–41. DOI: <http://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-321-12-36-41>

The influence of UV radiation on the property change of plant materials and their storability: A review

M.V. Trishkaneva, S.B. Tyurina, N.I. Fedyanina, A.A. Musatova

Russian Research Institute of Canning Technology – Branch of the Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences,
78 Schkolnaya Street, Vidnoye, Moscow Region, 142703, Russian Federation

Abstract: The review presents the analysis of effects of different ranges of ultraviolet (UV) radiation on physicochemical and organoleptic properties of certain types of fruits, vegetables, and mushrooms, as well as on changes in their storability. It provides the results of experimental studies and information from patent descriptions demonstrating significant changes in the properties and composition of plant objects after UV-treatment: an increase in the concentration of phenolic compounds, anthocyanins, quercetin glycosides, chlorogenic and ascorbic acids, and an increased antioxidant activity. Available data allow us to conclude on the efficiency of applying UV radiation, both as an independent type of product treatment during storage and processing of plant raw materials, and as part of combined methods using other physical processing techniques (microwave radiation, fast electron processing, γ -radiation, sonication, thermal treatment, etc.). The effectiveness of UV radiation significantly depends on its range and processing modes. UV radiation, along with the sterilizing effect, has a thermal effect on the treated objects. This means that a long-term exposure to UV radiation causes significant heating, which must be taken into account when processing plant objects having a temperature below the ambient one as it can potentially amend their storability. The review discusses the issues of choosing optimal UV treatment modes (radiation dose and processing time) that improve storability of fruits, vegetables, mushrooms and other plant species while preserving their physicochemical and organoleptic quality parameters. In conclusion, the efficiency of the radiation dose is determined by the radiation power flux density, parameters of radiation sources and their location relative to the processed objects. Determination of the optimal conditions (radiation dose and processing time) of UV treatment of plant raw materials, depending on the goals, is an important scientific and technological task.

Key words: ultraviolet irradiation, UV-A, UV-B, UV-C ranges, plant raw materials, physicochemical properties, storability, processing conditions, radiation dose, power flux density.

For citation: Trishkaneva MV, Tyurina SB, Fedyanina NI, Musatova AA. The influence of UV radiation on the property change of plant materials and their storability: A review. *Zdorove naseleniya i sreda obitaniya*. 2019; 12(321): 36–41. (In Russian) DOI: <http://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-321-12-36-41>

Information about the authors: Trishkaneva M.V., <http://orcid.org/0000-0002-4444-0716>; Tyurina S.B., <http://orcid.org/0000-0003-2970-4143>; Fedyanina N.I., <http://orcid.org/0000-0002-1665-5445>; Musatova A.A., <http://orcid.org/0000-0002-5997-2029>.

Введение. Сохранение качества свежих фруктов, овощей, грибов и других видов продукции растительного происхождения и увеличение их хранимоспособности является одной из важнейших задач обеспечения продовольственной безопасности страны. При разработке технологий хранения растительного сырья применяют целый ряд физических методов. Среди них — ионизирующие излучения (облучение электронным пучком, γ -излучение, рентгеновское излучение) [12, 34] и другие виды излучений (ультрафиолетовое, инфракрасное, сверхвысококачастотное) [1, 3, 27, 28, 62]. Часть этих методов, включая УФ-излучение, в последнее время широко исследуется в связи с возможностями их направленного воздействия на физико-химические и органолептические свойства продуктов, концентрацию поверхностной микрофлоры, влияющей на степень хранимоспособности.

Ультрафиолетовое излучение подразделяют на длинноволновый диапазон (315–400 нм) — УФ-А (UVA) излучение, средневолновый диапазон (280–315 нм) — УФ-В (UVB) излучение, коротковолновый диапазон (100–280 нм) — УФ-С (UVC) излучение и экстремальный диапазон (10–121 нм) — UVV-излучение. При этом только диапазоны УФ-В и УФ-С обладают бактерицидной активностью [2, 4, 14, 18, 62]. Максимальный стерилизующий эффект достигается при длине волны 254 нм.

Согласно экспериментальным данным и данным источников, обработка УФ-излучением снижает потери массы растительных объектов с сохранением их физико-химических и органолептических свойств, способствует активации защитных механизмов растительной клетки, которые приводят:

- к накоплению веществ с антибактериальными и антиокислительными свойствами, которые задерживают начало стадии созревания растительных объектов, позволяя предотвратить потери от порчи продукции [52, 56];
- к синтезу полезных для здоровья соединений, в частности антоцианов, фенольных соединений, флавоноидов, гликозидов, стильбенов и др. [7, 9, 11, 15, 29, 48, 50, 51, 54, 59];
- к сохранению нутриентной ценности за счет увеличения и сохранения содержания фенольных соединений, флавоноидов и полиаминов, которые оказывают противовоспалительное, антигистаминное и противораковое действия [8, 58].

При этом реакция свежих фруктов, овощей и грибов на обработку УФ-излучением может изменяться под действием ряда факторов, связанных с конкретными характеристиками каждого вида сырья. К ним относятся вид и сорт растений, факторы, связанные с зоной и условиями выращивания, сезоном роста, стадией зрелости при сборе урожая, исходным качеством продукта, процессами обработки после уборки урожая и условиями окружающей среды [12, 34, 63]. В настоящее время установлена также целесообразность применения моно- и комбинированной ультрафиолетовой обработки, которая реализована в патентах [5, 24, 38, 43, 45–49, 61] в комплексе с другими физическими методами воздействия (давлением, ионизирующим излучением, озонированием, ультразвуковой обработкой, температурным

воздействием и др.) на растительное сырье как в целом, так и в нарезанном виде [24, 37, 39–46, 57].

Существенным моментом при обработке УФ-излучением является оптимально подобранный режим обработки: мощность дозы УФ-излучения и время обработки в связи с проявлением термического эффекта УФ-излучения при его длительном воздействии. Отопление обрабатываемых объектов может приводить к ухудшению органолептических свойств растительного объекта. Для расчета эффективной дозы УФ-излучения учитывают свойства источников излучения, их расположение относительно обрабатываемых объектов и плотность потока мощности.

Методы исследования. В исследовании применяли общепринятые методы исследований: систематизацию, анализ и обобщение. Основными объектами анализа являются существующие подходы к применению УФ-излучения для воздействия на физико-химические свойства отдельных видов растительного сырья, описанные в отечественных и зарубежных научных публикациях и патентах.

Анализ применения УФ-излучения для обработки отдельных видов растительного сырья.

Земляника садовая (клубника). Положительные результаты получены при обработке УФ-излучением в диапазоне С излучения земляники садовой вида *Fragaria ananassa* Duch. разных сортов. При исследовании сорта *Allstar* [15] выявлены изменения антиоксидантных свойств и активности ферментов при обработке тремя дозами 0,43, 2,15 и 4,30 кДж/м² (продолжительность обработки составила 1, 5 и 10 мин соответственно). Такая обработка привела к усилению антиоксидантной способности, увеличению активности ферментов и значительному снижению степени их распада в процессе хранения при 10 °С. Обработка в течение 5 и 10 мин показала наилучшие результаты по сохранению физико-химических свойств и усилению антиоксидантной способности после 15 дней хранения.

Исследования сорта *Aroma* в стадии 50%-й зрелости дозой 4,1 кДж/м² после хранения при 20 °С в течение 96 ч показали существенное снижение размягчения тканей по сравнению с необработанными образцами [48]. Также установлена устойчивость этого сорта к микроорганизмам *Botrytis cinerea* при дозе 4,1 кДж/м² [49]. Полученные результаты показали, что такая обработка приводит к снижению потерь, вызванных болезнями и гниением, за счет увеличения активности ряда ферментов и белков, участвующих в защите от патогенных микроорганизмов. Отмечено, что послеуборочная обработка УФ-излучением за несколько часов до инокуляции *Botrytis cinerea* снижала процент заражения ягод во время хранения.

В работе [17] исследовали устойчивость сортов земляники *Cirafine*, *Charlotte* и *Candiss* к микроорганизмам *Botrytis cinerea* после обработки дозами 0,40, 0,85 и 1,70 кДж/м² в разных временных интервалах. Было показано, что данная обработка дозами 0,85 и 1,70 кДж/м² четыре раза в день увеличила на 25 % защитную реакцию ягод сорта *Candiss* к *Botrytis cinerea* без ухудшения их органолептических характеристик.

Виноград. Изучено влияние обработки УФ-излучением в УФ-В диапазоне винограда сорта *Tempranillo* дозами 5,98 и 9,66 кДж/м² [21]. В результате обработки содержание монометилфлавонолов увеличивалось пропорционально накопленной дозе УФ-В излучения. Этот режим обработки положительно повлиял на качественный состав ягод и способствовал улучшению органолептических свойств виноградного сусла, полученного из обработанных ягод.

Получены результаты послеуборочной обработки УФ-излучением винограда вида *V. vinifera* L. сорта *Cabernet Sauvignon* в УФ-С диапазоне [61]. Обработку проводили при 24 °С и относительной влажности 95 % на расстоянии примерно 0,5 м от поверхности источника излучения с плотностью потока мощности 100 мкВт/см² и продолжительностью 0, 1, 5, 10, 30 и 60 мин с постоянным вращением ягод для их гарантированного облучения со всех сторон. Такая обработка привела к накоплению полифенола флаванола, максимальная концентрация которого была достигнута при 30 мин.

Влияние УФ-излучения в диапазонах С и В представлены в работах [35, 53]. В ходе исследований было установлено, что обработка в УФ-В диапазоне приводила к наибольшему сохранению качества винограда во время хранения. Обработка в УФ-С диапазоне способствовала наибольшему увеличению фенольных соединений и антиоксидантной активности по сравнению с обработкой в диапазоне В. Физико-химические характеристики винограда, такие как растворимые сухие вещества, титруемая кислотность и рН во время хранения существенно не различались в зависимости от диапазона УФ-излучения.

Манго. Обработка манго сорта *Tommy Atkins* УФ-излучением в УФ-С диапазоне в течение 10 мин привела к накоплению фенолов и флавоноидов, содержание которых положительно коррелировало со значениями антиоксидантной способности. Такая обработка является значимым фактором в повышении пищевой ценности свежесрезанного плода [19].

Лимон. Проводилась обработка кожуры плодов лимона сорта *Limoneira 8A* УФ-излучением в УФ-В диапазоне плотностью потока мощности 0,43 Вт · м⁻² в течение 0 (контроль), 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 и 5,0 мин с последующим хранением при 25 °С и относительной влажности 65 %. Результатом облучения кожуры лимона в течение трех минут являлось накопление растворимых сахаров (сахарозы, глюкозы и фруктозы), фенольных соединений и гексозы во внешней части околоплодника (флаведа), тогда как во внутреннем белом рыхлом губчатом слое кожуры (альбеда) увеличилось только содержание сахарозы и глюкозы. Отмечено, что количество вторичных метаболитов зависело от продолжительности и дозы облучения [23].

Голубика. Ягоды голубики вида *Vaccinium corymbosum* сортов *Collins* и *Bluecrop* подвергали воздействию излучения в УФ-С диапазоне на расстоянии 8 см от источника излучения в течение 1–15 мин дозами 0, 1, 2 и 4 кДж/м² при 20 °С. Облученные ягоды хранили в течение семи дней при 5 °С, 2 дня при 20 °С и относительной влажности 90 %. Такая обработка не

повлияла на потерю веса и плотность голубики. Обсемененность ягод плесневыми грибами (*Colletotrichum acutatum*, *C. gloeosporioides*) была снижена на 10 %. УФ-излучение в диапазоне С дозами 2–4 кДж/м² повысила содержание общего антоцианина на 20 % после облучения и на 10 % после хранения относительно необлученного контроля [47].

Голубику сорта *Duke* подвергали обработке УФ-излучением в УФ-С диапазоне дозами 0,43; 2,15; 4,30 и 6,45 кДж/м² с соответствующей продолжительностью 1, 5, 10 и 15 мин. Результаты анализов показали, что сразу после облучения повысился уровень общего количества фенолов и антоцианов по сравнению с контролем. Антиоксидантная способность также была увеличена такой обработкой, причем дозы 2,15 и 4,30 кДж/м² были наиболее эффективными [60].

Яблоки. Исследовано влияние УФ-излучения дозами 1,2; 6,0; 12,0 и 24,0 кДж/м² на яблоки вида *Malus domestica Borkh* сорта *Pink Lady* одинакового размера и стадии созревания [33]. Яблоки, нарезанные ломтиками толщиной 1 см, обрабатывали с двух сторон при 6 °С и относительной влажности 90 % в термостатируемой камере дозой 20 кДж/м² продолжительностью до 120 мин. В результате установлено, что воздействие УФ-излучения приводит к денатурации окислительных ферментов, снижению поверхностной обсемененности ломтиков яблок, что увеличивает сроки их хранения.

Исследовано влияние комбинации видимого света и УФ-излучения в УФ-В диапазоне на яблоки вида *Malus domestica Borkh* сорта *Aroma* [22]. Обработку проводили в течение 12 ч в день на протяжении 10 дней при 10 °С и относительной влажности 95–98 %. Доза излучения составила 0,20 Вт/м². В результате возросли показатели антиоксидантной активности, общее количество фенолов, содержание антоцианов, кверцетингликозидов, хлорогеновой и аскорбиновой кислот. Послеуборочное облучение улучшило цвет кожицы яблок, но не повлияло на уровень растворимых сухих веществ и титруемой кислотности, а также не оказало видимых повреждений и существенных потерь веса.

Томаты. Установлено, что обработка УФ-излучением может эффективно применяться для улучшения питательных свойств томатов и увеличения содержания в них ликопина без значительных изменений физико-химических свойств томатов во время хранения после сбора урожая [30, 32]. Томаты вида *Lycopersicon esculentum* сорта *Red Ruby* ежедневно обрабатывали короткими вспышками ультрафиолета в течение 21 дня. Каждый день томаты подвергали воздействию бактерицидных УФ-С ламп в течение пяти минут, переворачивали и снова подвергали воздействию в течение пяти минут, что равнялось общей ежедневной дозе обработки 13,7 кДж/м². Такая обработка способствовала увеличению содержания ликопина в томатах без изменения текстуры плодов. Последующая комбинированная обработка УФ-излучением с ИК-излучением способствовала стимуляции накопления каротиноидов в томатах.

Исследовано влияние УФ-излучения на зрелые плоды зеленых томатов вида *Lycopersicon*

esculentum Mill сорта *Trust*, инокулированных спорами *Botrytis cinerea*, концентрацией $5 \cdot 10^8$ спор/л [10]. Обработку проводили в УФ-С диапазоне с двух сторон дозой 3,7 кДж/м² на расстоянии 30 см от источника излучения в течение трех минут. Хранение облученного сырья осуществляли при 13 °С и относительной влажности около 95 %. Инокулирование выполняли суспензией спор *Botrytis cinerea* через 10 дней после обработки УФ-излучением. Исследования проводили через 2, 3, 4 и 15 дней после инокуляции. Инокуляция необработанных плодов *Botrytis cinerea* приводила к быстрой колонизации и мацерации тканей. У обработанных плодов участок заражения был в основном ограничен внешней частью плода, и зона укладки клеточной стенки препятствовала продвижению спор к внутренним тканям. Таким образом, обработка УФ-излучением приводит к ультраструктурным изменениям в эпидермальной ткани, стимулирующим образование физического барьера, который ограничивает инвазию *Botrytis cinerea*.

Влияние воздействия различных доз УФ-излучения в УФ-С диапазоне и импульсного излучения установлено в [36] на томатах вида *Solanum lycopersicum* сорта *San Marzano*. В результате выявлено, что послеуборочная обработка зеленых томатов УФ-излучением эффективна для активации соединений с высоким антиоксидантным потенциалом (общие каротиноидные и фенольные соединения, ликопин), повышения пищевой ценности и не влияет на физико-химические и органолептические свойства (рН, растворимые сухие вещества и цвет).

Шпинат. Листья шпината вида *Spinacia oleracea* сорта *Silver Whale* подвергали воздействию различных доз (0; 2,4; 7,2; 12 и 24 кДж/м²) УФ-излучения в УФ-С диапазоне [16]. Предварительно промытые и высушенные листья шпината заражали *Listeria*, *Salmonella* и *Pseudomonas* до обсемененности 3–5 log КОЕ/г и подвергали обработке УФ-излучением. Далее осуществляли фасовку в полипропиленовые (PP) пакеты и хранили в условиях 20 % O₂, 0,3 % CO₂ при относительной влажности ≥ 95 % в течение 14 дней при температуре 5 °С.

Результаты исследований показали эффективность снижения первоначальной микробиологической обсемененности шпината в начале хранения с использованием короткой продолжительности обработки и низких доз облучения. УФ-обработка приводит к снижению микробиологической обсемененности по исследуемым патогенным микроорганизмам в течение всего периода хранения.

Брокколи. Установлено, что обработка соцветий брокколи *Brassica oleracea* L. var. *italica* сорта *Cicco* УФ-излучением в УФ-С диапазоне может быть использована с целью замедления старения соцветий брокколи [13]. Обработку проводили на расстоянии 30 см от источника излучения дозами 0 (контроль); 4; 7; 10 и 14 кДж/м². После обработки соцветия покрывали ПВХ-пленкой для уменьшения потерь влаги и хранили при 20 °С. Исследования проводили в нулевой, второй, четвертый и шестой дни хранения. В результате исследований выявлено, что УФ-обработка способствует замедлению деградации хлорофилла в брокколи, причем

при облучении дозами 10 и 14 кДж/м² наблюдалась наибольшая задержка. УФ-обработка дозой 10 кДж/м² способствовала задержке деградации хлорофилла, увеличению активности хлорофиллазы, хлорофилла пероксидазы и антиоксидантной способности, что приводит к повышению пищевой ценности брокколи. Результаты показали также, что такая обработка замедляет старение соцветия, снижает повреждение и разрушение тканей, о чем свидетельствуют изменения активности дыхания и содержания фенольных соединений.

Пожелтение соцветий является основным признаком снижения качества брокколи. Исследовано влияние воздействия УФ-излучения в диапазоне УФ-А дозами 4,5 и 9,0 кДж/м² и УФ-В дозами 4,4; 8,8; 13,1; 17,5 и 26,3 кДж/м² на задержку старения соцветий брокколи *Brassica oleracea* L. var. *Italica Group* сортов *Sawayutaka* и *Pixel* [6]. В результате исследований выявлено, что обработка УФ-излучением приводит к замедлению процесса пожелтения соцветий. Обработка брокколи сорта *Sawayutaka* в УФ-В диапазоне показала наиболее высокое содержание хлорофилла по сравнению с обработанными соцветиями сорта *Pixel*.

Перец. Исследовано влияние воздействия различных доз УФ-излучения в УФ-А диапазоне с дальнейшим охлаждением на продление сроков хранения перцев *Capsicum annum* L. сорта *Zafiro* [59]. Обработку проводили дозами 1, 3, 7 и 14 кДж/м² при 3-кратном вращении перцев с целью обеспечения равномерного воздействия на поверхность исследуемого объекта. После обработки перцы покрывали ПВХ-пленкой и хранили при 10 и 20 °С в течение 18 сут. Исследования проводили сразу после облучения и на 12, и на 18 сут. хранения. Результаты показали, что обработка в УФ-С диапазоне влияет на задержку частоты дыхания, утечку электролита из клеточной ткани, способствует сокращению потерь от микробиологической порчи и сохранению качества болгарского перца.

Грибы. Исследовано влияние воздействия различных доз УФ-излучения на культивируемые и дикорастущие грибы: шампиньоны вида *Agaricus bisporus*, *Portabella*, грибы шиитаке вида *Lentinula*, вешенка *Pleurotus ostreatus*, сушеные боровики вида *Boletus edulis*, консервированные шампиньоны вида *A. bisporus* и лисички *C. cibarius* [20, 25, 55]. Обработку в УФ-А и УФ-С диапазонах проводили на расстоянии 20 см от источника излучения в течение 0,5; 1 и 2 ч дозами 94,7; 189,5 и 379,0 Дж/см² при температуре 25 °С. Исследование подтвердило, что облучение в УФ-А диапазоне незначительно увеличивает содержание эргостерола и витамина D₂ в грибах по сравнению с облучением в УФ-С диапазоне. Обработка свежих белых грибов, лисичек и шампиньонов в УФ-С диапазоне привела к увеличению содержания в них витамина D₂ в 9 раз, для шампиньонов — в 14 раз. Полученные результаты исследований доказали, что витамин D₂ может вырабатываться не только в свежих грибах, но и в лиофилизированных, что способствует повышению их пищевой ценности.

Изучено влияние воздействия УФ-излучения в УФ-С диапазоне на грибы шиитаке вида *L. Edodes* [26]. Обработку проводили на расстоянии 60 см

от источника излучения с дозой 4 кДж/м². После обработки грибы фасовали по 65 ± 5 г в пакеты из полиэтилена (РЕ), хранили в течение 16 дней при температуре 1 ± 1 °С и относительной влажности 95 % и в течение трех дней при 20 °С. Обработанные образцы имели более высокое содержание флавоноидов и аскорбиновой кислоты. Обработка привела к снижению интенсивности дыхания и содержания Н₂О₂, увеличению активности антиоксидантных ферментов (каталазы, супероксиддисмутазы, аскорбатпероксидазы и глутатионредуктазы) на протяжении всего периода хранения. Применение УФ-излучения способствовало замедлению размягчения растительной ткани, сохранению качества и повышению пищевой ценности грибов шиитаке.

Исследовано влияние воздействия УФ-излучения в УФ-С диапазоне на грибы шампиньоны вида *Agaricus bisporus*. Обработку проводили на расстоянии 20 см от УФ-источника в течение 50, 100 и 200 с дозами 0,5; 1,0 и 2,0 кДж/м², затем грибы упаковывали в пакеты из полиэтилена и хранили при температуре 4 ± 1 °С и относительной влажности 80 %. Результаты показали, что такая обработка во время хранения подавляет покоричневение грибов, увеличивает содержание фенольной кислоты и антиоксидантную способность, но может вызывать незначительное повреждение поверхностной ткани шляпки грибов сразу после облучения [31].

Заключение. Анализ влияния УФ-излучения на физико-химические, органолептические и микробиологические свойства растительного сырья подтверждает его эффективность. Такой вид обработки может широко применяться для решения проблем увеличения хранимостепособности сырья и направленного воздействия на отдельные свойства широкого перечня фруктов, овощей, грибов. При обработке растительной продукции УФ-излучением в различных его диапазонах происходит снижение микробиологической обсемененности обрабатываемого сырья, снижение потерь от порчи и убыли массы, сохраняется и улучшается пищевая ценность продукта. При этом эффективность применения УФ-излучения зависит от вида обрабатываемого сырья, длины волны выбранного УФ-диапазона, мощности дозы УФ-излучения и времени обработки.

Полученные результаты анализа дают основания для проведения дальнейших исследований по определению оптимальных режимов УФ-излучения для обработки растительного сырья, в том числе определения граничных условий применения УФ-излучения, исключающих негативное влияние термического эффекта, возникающего при длительном воздействии УФ-излучения.

Список литературы (п. 6–63 см. References)

1. Безлепкин А.И., Переводчиков В.И., Шлифер Э.Д. Разработки установки для обеззараживания жидких и твердофазных объектов комбинированным воздействием СВЧ- и УФ-излучений и озона. «Высоковольтная и преобразовательная техника». М., Изд-во ВЭИ. 2001. С. 137–143.
2. Вассерман А.Л. Проектирование и эксплуатация ультрафиолетовых бактерицидных установок / Под ред. Ю.Б. Поповского. М., 2009, 56 с.
3. Джарулаев Д.С. Научно-технические принципы создания интенсивных технологий переработки плодово-ягодного сырья с использованием электромагнитного поля сверхвысокой частоты: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.18.01. Краснодар, 2005, 49 с.
4. Джеймс М. Джей, Лёсснер М.Д., Гольден Д.А. Современная пищевая микробиология. М.: Бином. Лаборатория знаний., 2011, 886 с.
5. Патент РФ 2666747, Российская Федерация, МПК А23Л 3/36, А23Л 3/28, А23Л 3/3409. Устройство для хранения свежих продуктов и способ хранения / Хирума Наоя, Канаи Сатору, Икута Такако, Итимура Дзунтаро, Хисинума Нобуюки; заявитель и патентообладатель — МАЙЕКАВА МФГ. КО., ЛТД.; заявка № 2017140022, заявл.: 30.05.2016, опубл.: 12.09.2018.
6. Bezlepkina AI, Perevodchikov VI, Shlifer ED. Developments of the installation for decontamination of liquid and solid-phase objects by the combined SHF- and UV-irradiations and ozone. High-voltage and transducer technique, Moscow: Publishing house VEI Publ. 2001; 137–143. (in Russian).
7. Vasserman AL. Designing and exploitation of ultraviolet bactericidal installations. 2009; 56 (in Russian).
8. Dzharylauov DS. Scientific and technical principles of developing the intensive technologies of fruit and berries raw material processing using super-high frequency electromagnetic field. Abstract of dissertation of Grand PhD in Engineering sciences 2005; 49. (in Russian).
9. Jey JM, Lessner MD, Golden DA. Modern food microbiology. Binom Laboratory of knowledge Publ. 2011. P. 886. (in Russian).
10. Naoya H, Satoru K, Takako I, et al. Device for storage of fruit products and method of storage. Patent RU 2666747, Russian Federation, IPC A23L 3/36, A23L 3/28, A23L 3/3409; Applicant and assignee — Mayekawa MFG. Co. Ltd.; application no. 2017140022, filed: 30.05.2016, publ.: 12.09.2018. (in Russian).
11. Aiamla-or S, Yamauchi N, Takino S, et al. Effect of UV-A and UV-B irradiation on broccolis (*Brassica oleracea* L. Italica Group) floret yellowing during storage. *Postharvest Biol Technol.* 2009; 54(3):177–179. DOI:10.1016/j.postharvbio.2009.07.006
12. Allende A, Marin A, Buendia B, et al. Impact of combined postharvest treatments (UV-C light, gaseous O₃, superatmospheric O₂ and high CO₂) on health promoting compounds and shelf-life of strawberries. *Postharvest Biol Technol.* 2007; 46(3):201–211. DOI:10.1016/j.postharvbio.2007.05.007
13. Allothman M, Bhat R, Karim AA. UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innov Food Sci Emerg.* 2009; 10(4):512–516. DOI:10.1016/j.ifset.2009.03.004
14. Charles MT, Mercier J, Makhlof J, et al. Physiological basis of UV-C-induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit. Role of pre- and post- challenge accumulation of the phytoalexin rishitin. *Postharvest Biol Technol.* 2007; 43:366–373. DOI:10.1016/j.postharvbio.2007.05.014
15. Charles MT, Benhamou N, Arul J. Physiological basis of UV-C induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit. III. Ultrastructural modifications and their impact on fungal colonization. *Postharvest Biol Technol.* 2008; 47(1):27–40. DOI:10.1016/j.postharvbio.2007.05.015
16. Charles MT, Mercier J, Makhlof J, et al. Physiological basis of UV-C-induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit. I. Role of pre- and post-challenge accumulation of the phytoalexin-rishitin. *Postharvest Biol Technol.* 2008; 47(1):10–20. DOI:10.1016/j.postharvbio.2007.05.013
17. Cia P, Benato EA, Pascholati SF. Use of irradiation in postharvest disease management: problems and solutions. *Int J Rev Postharvest Biol Technol.* 2010; 4(6):1–7. DOI: 10.2212/spr.2010.4.3
18. Costa L, Vicente AR, Civello PM, et al. UV-C treatment delays postharvest senescence in broccolis florets. *Postharvest Biol Technol.* 2006; 39(2):204–210. DOI:10.1016/j.postharvbio.2005.10.012
19. Orlowska M, Koutchma T, et al. Continuous and pulsed ultraviolet light for nonthermal treatment of liquid foods. Part I: Effects on quality of fructose solution, apple juice, and milk. *Food and Bioprocess Tech.* 2013; 6(6): 1580–1592. DOI:10.1007/s11947-012-0779-8
20. Erkan M, Wang SY, Wang SY, et al. Effect of UV treatment on antioxidant capacity antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit. *Postharvest Biol Technol.* 2008; 48:163–171.
21. Escalona VH, Aguayo E, Martnez-Hernández GB, et al. UV-C doses to reduce pathogen and spoilage bacterial growth in vitro and in baby spinach. *Postharvest Biol Technol.* 2010; 56(3):223–231. DOI:10.1016/j.postharvbio.2010.01.008
22. Forges M, Vasquez H, Charles F, et al. Impact of UV-C radiation on the sensitivity of three strawberry plant cultivars (*Fragaria ananassa*) against *Botrytis cinerea*. *Scientia Horticulturae*, 2018; 240: 603–613. DOI:10.1016/j.scienta.2018.06.063
23. Gardner DWM, Shama G. Modeling UV-induced inactivation of microorganisms on surfaces. *Journal of Food Protect.* 2000; 63(1):63–70. DOI:10.4315/0362-028x-63.1.63
24. González-Aguilar GA, Villegas-Ochoa MA, Martínez-Téllez MA, et al. Improving antioxidant capacity of fresh-cut mangoes treated with UV-C. *J Food Sci.* 2007; 72(3):197–202. DOI:10.1111/j.1750-3841.2007.00295.x
25. Guan W, Fan X, Yan R. Effects of UV-C treatment on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, microbial loads, and quality of button mushrooms. *Postharvest Biol Technol.* 2012; 64(1): 119–125. DOI:10.1016/j.postharvbio.2011.05.017
26. Guerrero RF, Puertas B, Jiménez MJ, Cacho J, and Cantos-Villar E. Monitoring the process to obtain red wine enriched in resveratrol and piceatannol without quality loss. *Food Chem.* 2012; 122(1):195–202. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.02.057
27. Hagen SF, Borge GIA, Bengtsson GB, et al. Phenolic contents and other health and sensory related properties of apple fruit (*Malus domestica* Borkh., cv. Aroma): Effect of postharvest UV-B

- irradiation. *Postharvest Biol Technol*. 2007; 45(1):1–10. DOI:10.1016/j.postharvbio.2007.02.00
23. Interdonato R, Rosa M, Nieva CB, et al. Effects of low UV-B doses on the accumulation of UV-B absorbing compounds and total phenolics and carbohydrate metabolism in the peel of harvested lemons. *Environ Exp Bot*. 2011; 70(2-3):204–211. DOI:10.1016/j.envexpbot.2010.09.006
 24. International Application WO 2010010059, Italy, IPC A23B 7/015, A23B 7/154, A23B 7/157, A23L 3/28. Method for the production of fresh-cut fruits and vegetables based on the combined use of ultraviolet light and acidification. Manzocco Lara; Applicants – Università degli Studi di Udine; Manzocco Lara; application no. PCT/EP2009/059286, filed: 20.07.2009, publ.: 28.01.2010.
 25. Jasinghe VJ, Perera CO. Distribution of ergosterol in different tissues of mushrooms and its effect on the conversion of ergosterol to vitamin D2 by UV irradiation. *Food Chem*. 2005; 92(3):541–546. DOI:10.1016/j.foodchem.2004.08.022
 26. Jiang T, Jahangir MM, Jiang Z, et al. Influence of UV-C treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and texture of postharvest shiitake (*Lentinus edodes*) mushrooms during storage. *Postharvest Biol Technol*. 2010; 56(3):209–215. DOI:10.1016/j.postharvbio.2010.01.011
 27. Koutchma TN, Forney LJ, Moraru CI. Ultraviolet light in food technology: principles and applications. Boca Raton: CRC Press: *Contemporary food engineering* 2009; 278:267–278.
 28. Lado B, Yousef A. Alternative food preservation technologies: efficacy and mechanisms. *Microbes Inf*. 2002; 4:433–440.
 29. Lemoine ML, Civello PM, Martinez GA, et al. Influence of postharvest UV-C treatment on refrigerated storage of minimally processed broccoli Brassica oleracea Italia. *J Sci Food Agric*. 2007; 87:1132–9.
 30. Liu LH, Zabarar D, Bennett, LE, et al. Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chem*. 2009; 115(2):495–500. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.12.042
 31. Lu Y, Zhang J, Wang X, et al. Effects of UV-C irradiation on the physiological and antioxidant responses of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) during storage. *Int J Food Sci Tech*. 2016; 51(6):1502–8. DOI:10.1111/ijfs.13100
 32. Maharaj R, Arul J, Nadeau P. UV-C irradiation effects on levels of enzymic and non-enzymic phytochemicals in tomato. *Innov Food Sci Emerg*. 2014; 21:99–106. DOI:10.1016/j.ifset.2013.10.001
 33. Manzocco L, Da Pieve S, Bertolini A, et al. Surface decontamination of fresh-cut apple by UV-C light exposure: Effects on structure, colour and sensory properties. *Postharvest Biol Technol*. 2011; 61(2-3):165–171. DOI:10.1016/j.postharvbio.2011.03.003
 34. Marisa M Wall. Phytosanitary irradiation and fresh fruit quality: cultivar and maturity effects. *Stewart Postharvest Review*. 2015; 11(3):1–6. www.stewartpostharvest.com. DOI:10.2212/spr.2015.3.6
 35. Pan Q-H, Wang L, Li J-M. Amounts and subcellular localization of stilbene synthase in response of grape berries to UV irradiation. *Plant Sci*. 2009; 176(3):360–366. DOI:10.1016/j.plantsci.2008.12.004
 36. Pataro G, Sinik M, Capitoli MM, et al. The influence of post-harvest UV-C and pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of tomato fruits during storage. *Innov Food Sci Emerg*. 2015; 30:103–111. DOI:10.1016/j.ifset.2015.06.003
 37. Patent Application CN 101978837, China, IPC A23B 7/00, A23B 7/04, A23B 7/015, A23B 7/148. Method for refrigerating and preserving juicy peach fruits. Linchun Mao, Chunlu Qian, Yuying Zhao; Applicant – Zhejiang University; application No. 201010294423.0, filed: 27.09.2010, publ.: 23.02.2011.
 38. Patent Application CN 102640782, China, IPC A23B 7/015. Blueberry fresh keeping method utilizing ultraviolet ray irradiation. Weijun Sun, Tao Wang, Tingcai Yan, Chengyuan Liang, Qingsheng Hu, Yanqing Zhu, Cheng Wang; Applicant – Jiangsu Xingtu Modern Agriculture Developing Co., Ltd.; application No. 201210147577.6, filed: 14.05.2012, publ.: 22.08.2012.
 39. Patent Application CN 103355398, China, IPC A23B 7/015, A23B 7/04. Preservation method for performing ultraviolet irradiation and pressure-reduction storage on strawberries. Wang Yousheng, Wang Guixi, Li Jian, He Xinmeng, Zhang Chengjin, Liang Lisong; Applicant – Beijing Technology and Business University; application No. 201310251154.3, filed: 24.06.2013, publ.: 23.10.2013.
 40. Patent Application CN 103385284, China, IPC A23B 7/00, A23B 7/16, A23B 7/154, A23B 7/157, A23B 7/148. Biological chemical physical comprehensive long-acting fresh-keeping and storage method for honey peach. Li Jianlong, Chen Yizhao, Gang Chengcheng, Li Yang, Li Hui; Applicant – Nanjing University; application No. 201310282871.2, filed: 04.07.2013, publ.: 13.11.2013.
 41. Patent Application CN 105918429, China, IPC A23B 7/015, A23B 7/16. Method for comprehensively preserving and storing prunus persica at normal temperature. Li Jianlong, Zhang Yanzhen, Li Hui; Applicant – Nanjing University (Suzhou) High-Tech Institute; application No. 201610250315.0, filed: 21.04.2016, publ.: 07.09.2016.
 42. Patent Application US 2009311392, USA, IPC A23L 3/28, A23B 7/015, A23L 3/34. Novel approach to the controlled decontamination and or detoxification of nuts, grains, fruits and vegetables. Newman Paul Bernard; Applicant – Paul Bernard Newman; application No. 12/211571, filed: 16.09.2008, publ.: 17.12.2009.
 43. Patent Application US 201323375, USA, IPC A23L3/28. Method for sterilizing fruits and vegetables. Takahashi Akira, Kinouchi Yohsuke, Akutagawa Masatake, Lian Xin; Applicants – Takahashi Akira, Kinouchi Yohsuke, Akutagawa Masatake, Lian Xin и The University of Tokushima; application No. 13/883010, filed: 04.11.2011, publ.: 05.12.2013.
 44. Patent Application US 2016235080, USA, IPC A23B 7/015, A23B 7/04. Methods for increasing the nutraceutical content of perishable fruits. Ayala Gil Maria Esperanza, Lozoya Gloria Edmundo; Applicant – Centro de Investigaciyn y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional; application No. 15/024643, filed: 12.09.2014, publ.: 18.08.2016.
 45. Patent US 7217358, USA, IPC C02F 1/32. Ultraviolet radiation treatment of unwanted microorganisms. Evans Lionel; Applicant and assignee – Evans Lionel; application No. 10/512941, filed: 28.04.2003, publ.: 15.05.2007.
 46. Patent US 7601376, USA, IPC A23B 7/15. Preservation of produce. Stanley R.A.; Applicants – Stanley Roger Anthony; The Horticulture and Food Research Institute of New Zealand Limited; Assignee – The Horticulture and Food Research Institute of New Zealand Limited; application No. 10/487263, filed: 29.08.2002, publ.: 13.10. 2009.
 47. Perkins-Veazie P, Collins JK, Howard L. Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation. *Postharvest Biol Technol*. 2008; 47(3):280–285. DOI:10.1016/j.postharvbio.2007.08.002
 48. Pombo M A, Dotto M C, Martnez G A, et al. UV-C irradiation delays strawberry fruit softening and modifies the expression of genes involved in cell wall degradation. *Postharvest Biol Tech*. 2009; 51(2):141–148. DOI:10.1016/j.postharvbio.2008.07.007
 49. Pombo MA, Rosli HG, Martnez G.A et al. UV-C treatment affects the expression and activity of defense genes in strawberry fruit (*Fragaria nananassa*, Duch.). *Postharvest Biol Technol*. 2011; 59(1):94–102. DOI:10.1016/j.postharvbio.2010.08.003
 50. Shama G. A new role for UV Extensions to the shelf foods by UV-induced effects. IOA-IUVA a Joint World Congress; Los Angeles CA 2007; pp.27–29.
 51. Shama G, Alderson P. UV hormesis fruits: A concept ripe for commercialization. *Trends Food Sci Tech*. 2005; 16:128–136.
 52. Shama G. Process challenges in applying low doses of ultraviolet light to fresh produce for eliciting beneficial hormetic responses. *Postharvest Biol Technol*. 2007; 44(1):1–8. DOI:10.1016/j.postharvbio.2006.11.004
 53. Sheng K, Zheng H, Shui S, et al. Comparison of postharvest UV-B and UV-C treatments on table grape: Changes in phenolic compounds and their transcription of biosynthetic genes during storage. *Postharvest Biol Tech*. 2018; 138:74–81. DOI:10.1016/j.postharvbio.2018.01.002
 54. Stevens C, Khan VA, Wilson CL, et al. The effect of fruit orientation of fruit orientation of postharvest commodities following low dose ultraviolet light-C treatment on host induced resistance to decay. *Crop Prot*. 2005; 24:756–759.
 55. Teichmann A, Dutta P C, Staffas A. et al. Sterol and vitamin D2 concentrations in cultivated and wild grown mushrooms: Effects of UV irradiation. *Food Science Tech*. 2007; 40(5):815–822. DOI:10.1016/j.lwt.2006.04.003
 56. Terry L. Elicitors of induced disease resistance in postharvest horticultural crops: a brief review. *Postharvest Biology Technol*. 2004; 32(1):1–13. DOI:10.1016/j.postharvbio.2003.09.016
 57. UK Patent Application GB 2388764, United Kingdom, IPC A23B 7/015, A23B 9/06, A23L 3/28. Treatment of vegetable foodstuffs with UV radiation / Newman Paul Bernard David; Applicant – Paul Bernard David Newman; application No. 0310456.9, filed: 07.05.2003, publ.: 26.11.2003.
 58. United States Food and Drug Administration – FDA (2002). Ultraviolet radiation for the processing and treatment of food Code of Federal Regulations, 21 Part, 179.39. Washington: United States Government Publishing Office
 59. Vicente AR, Pineda C, Lemoine L, et al. UV-C treatments reduce, retain quality and alleviate chilling in july in pepper. *Postharvest Biol Technol*. 2005; 35:69–78.
 60. Wang CY, Chen CT, Wang SY. Changes of flavonoid content and antioxidant capacity in blueberries after illumination with UV-C. *Food Chem*. 2009; 117(3):426–431. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.04.037
 61. Wen PF, JiW, Gao MY, et al. Accumulation of flavanols and expression of leucoanthocyanidin reductase induced by postharvest UV-C irradiation in grape berry. *Genet Mol Res*. 2015; 14(3):7687–7695. DOI:10.4238/2015.july.13.14
 62. Yaun BR. Summer SS. Eifert JD, et al. Inhibition of pathogens on fresh produce by ultraviolet energy. *Intern J Food Microbiol*. 2004; 90(1):1–8. DOI:10.1016/s0168-1605(03)00158-2
 63. Zhang K, Pu YY, Sun DW. Recent advances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricus bisporus*): a review. *Trends Food Sci Tech*. 2018; 78:72–82. DOI:10.1016/j.tifs.2018.05.012

Контактная информация:

Тришканева Марина Валерьевна, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, ВНИИТЭК – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
e-mail: labnta@vniitek.ru

Corresponding author:

Marina Trishkaneva, Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher, Russian Research Institute of Canning Technology – Branch of the Gorbатов Federal Research Center for Food Systems
e-mail: labnta@vniitek.ru

Статья получена: 21.10.19

Принята в печать: 20.11.19