

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 664.8

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗОВАННОЙ ВОДЫ НА КАЧЕСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ ПЛОДОВООВОЩНОГО СЫРЬЯ**Бурак Л.Ч.***ООО «Белросаква», Минск, e-mail: leonidburak@gmail.com*

Цель исследования – характеристика процесса получения электролизованной воды, преимущества и недостатки, а также ее потенциальное применение для удаления остатков пестицидов и микроорганизмов с поверхности овощей и фруктов. В обзор включены статьи, опубликованные на английском и русском языках за 2005–2024 гг. Поиск научной литературы на английском языке по данной теме проводили по ключевым словам в библиографических базах Scopus и Web of science. Для отбора научных статей на русском языке провели поиск по ключевым словам в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU. При выполнении работы использованы такие научные методы, как поиск и скрининг научной литературы, извлечение данных, их анализ, систематизация и обобщение. Обзор результатов исследований показал, что электролизованная вода не только удаляет микроорганизмы и остатки пестицидов из овощей и фруктов, но также способствует улучшению качества плодоовощного сырья после сбора урожая. Использование обработки овощей и фруктов электролизованной водой целесообразно благодаря ее экологичности, высокоэффективной стерилизации, низкой цене и простоте производства. Основным применением электролизованной воды в пищевой промышленности является снижение и инактивация патогенов на пищевом оборудовании и посуде, морепродуктах, мясе птицы и свежих овощах и фруктах, а также предотвращение болезней сельскохозяйственных культур. Тенденция промышленного внедрения метода обработки электролизованной водой растительного сырья имеет положительную динамику. Для дальнейшего улучшения антибактериального действия электролизованной воды необходимо продолжать исследования по ее комбинированному использованию с другими методами обработки, такими как озонирование, кратковременный нагрев и ультразвук, холодная плазма и др.

Ключевые слова: овощи, фрукты, электролизованная вода, качество, пестициды, бактерии, дезинфекция, антимикробная активность

INFLUENCE OF ELECTROLYZED WATER ON THE QUALITY AND SAFETY OF FRUIT AND VEGETABLE RAW MATERIALS**Burak L.Ch.***LLC Belrosakva, Minsk, e-mail: leonidburak@gmail.com*

The aim of the study is to characterize the process of obtaining electrolyzed water, its advantages and disadvantages, as well as its potential application for removing pesticide residues and microorganisms from the surface of vegetables and fruits. The review includes articles published in English and Russian for 2005–2024. The search for scientific literature in English on this topic was carried out using keywords in the Scopus and Web of Science bibliographic databases. To select scientific articles in Russian, a search was conducted using keywords in the Scientific Electronic Library eLIBRARY.RU. When performing the work, scientific methods were used: searching and screening of scientific literature, data extraction, analysis, systematization and generalization. A review of the research results showed that electrolyzed water not only removes microorganisms and pesticide residues from vegetables and fruits, but also helps to improve the quality of fruit and vegetable raw materials after harvesting. The use of electrolyzed water for treating vegetables and fruits is advisable due to its environmental friendliness, highly effective sterilization, low cost and ease of production. The main application of electrolyzed water in the food industry is the reduction and inactivation of pathogens on food equipment and utensils, seafood, poultry and fresh vegetables and fruits, as well as the prevention of diseases of agricultural crops. The trend towards industrial implementation of the method of processing plant raw materials with electrolyzed water has positive dynamics. To further improve the antibacterial effect of electrolyzed water, it is necessary to continue research on its combined use with other treatment methods, such as ozonation, short-term heating and ultrasound, cold plasma and others.

Keywords: vegetables, fruits, electrolyzed water, quality, pesticides, bacteria, disinfection, antimicrobial activity

Введение

Сведения о составе продуктов питания, отсутствии в них химических консервантов, использовании в процессе переработки современных технологий, позволяющих максимально сохранять пищевую ценность продукта, свежесть вкуса и аромата, привлекает потребителей и во многом определяет их покупательскую способность [1]. Фрукты и овощи играют ключевую роль в питании человека благодаря наличию многих

биологически активных соединений и питательной ценности. Плодоовощное сырье является важным ресурсом, оказывающим профилактическое действие, поскольку способствует предотвращению таких заболеваний, как болезни глаз, ожирение, сердечно-сосудистые заболевания, остеопороз и некоторые виды рака [2]. Однако свежие фрукты и овощи в процессе выращивания, транспортировки, хранения и продажи подвержены микробному загрязнению бакте-

риями и патогенными микроорганизмами, содержащимися в почве, воде и других средах. Присутствие этих микроорганизмов вызывает вспышки болезней пищевого происхождения и порчу растительного сырья. За последние два десятилетия отмечается рост числа заболеваний пищевого происхождения, связанных с употреблением зараженных овощей и фруктов. Согласно статистике Центра по контролю и профилактике заболеваний (CDC), около 48 млн чел. в США ежегодно страдают от болезней пищевого происхождения, из них 3000 чел. умирают [3]. По оценкам Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО) около 20–40% послеуборочного плодовоовощного сырья теряется из-за гниения, вызванного гнилостными бактериальными инфекциями. Кроме того, остатки пестицидов являются еще одним ключевым фактором, влияющим на качество свежих фруктов и овощей. Химические технологии, например дезинфекция, и физические, такие как термическая обработка, применяют с целью сохранения и обеспечения безопасности растительного сырья. Качество собранного растительного сырья также зависит от предуборочных факторов, включая агротехнические приемы. С этой целью в процессе сельскохозяйственного производства овощей и фруктов широко используют пестициды [4]. Неправильное использование пестицидов не только приводит к образованию отходов, но и загрязняет сельскохозяйственную продукцию и окружающую среду. Пестициды обладают экологической стабильностью, способностью к биоаккумуляции и токсичностью.

Длительное потребление растительного сырья, содержащего остатки пестицидов, оказывает неблагоприятное воздействие на здоровье человека, вызывая хронические заболевания, нарушения репродуктивной функции и клеточную дисплазию [5]. Эти неблагоприятные последствия будут усугубляться повышенным спросом на свежие овощи и фрукты, поэтому необходимы исследования в области технологий контроля микробиологической обсемененности и пестицидов в растительном сырье для снижения биологической и химической опасности [6]. Свежие фрукты и овощи, собранные на сельскохозяйственных угодьях, перед отправкой на хранение в холодильник должны быть тщательно очищены. Для удаления микроорганизмов и остатков пестицидов с поверхности послеуборочного растительного сырья обычно используют водопроводную воду. Однако, поскольку водопроводная вода сама по себе содержит микроорганизмы, а многие пестициды являются

гидрофобными, провести очистку водой затруднительно и неэффективно. В настоящее время для удаления микроорганизмов и остатков пестицидов из овощей и фруктов применяются многие методы, такие как традиционные термические методы, химические реагенты, озон (O_3), ультрафиолетовое (УФ) облучение и ультразвук (US) [4, 6]. Вместе с тем традиционная термическая обработка обычно приводит к разрушению питательных веществ и ухудшению текстуры. Обработка с использованием хлора сопряжена с риском образования вредных побочных продуктов, таких как тригалометаны, которые угрожают здоровью потребителей [4, 7]. Озон и УФ-облучение вызывают неблагоприятные изменения сенсорных характеристик и потерю питательных веществ, а обработка ультразвуком (US) имеет такие недостатки, как высокая стоимость и негативное влияние для слуховую систему человека [4, 6, 8]. Поэтому для решения вышеуказанных проблем необходимы безопасные и эффективные альтернативные методы обработки. Недавние исследования доказали, что электролизованная вода (ЭВ) не только удаляет микроорганизмы и остатки пестицидов из овощей и фруктов, но также способствует улучшению качества плодовоовощного сырья после сбора урожая. ЭВ привлекает широкое внимание предприятий пищевой промышленности благодаря своим преимуществам, таким как экологичность, высокоэффективная стерилизация, низкая цена и простота производства. Концепция технологии электролизованной воды была разработана и предложена учеными России, где изначально применялась для обеззараживания воды и стерилизации медицинского оборудования. Со временем данный способ обработки начали использовать в таких областях, как животноводство, сельское хозяйство и пищевая промышленность. Основным применением ЭВ в пищевой промышленности является снижение и инактивация патогенов на пищевом оборудовании и посуде, морепродуктах, мясе птицы и свежих овощах и фруктах, а также предотвращение болезней сельскохозяйственных культур. **Цель данного исследования** – характеристика процесса приготовления ЭВ, преимущества и недостатки, а также его потенциальное применение для удаления остатков пестицидов и микроорганизмов с поверхности овощей и фруктов.

Материалы и методы исследования

Поиск научной литературы результатов исследований потенциальных возможностей обработки овощей и фруктов электро-

лизированной водой, механизмов микробной инактивации и влияния на физико-химические, технологические и сенсорные свойства, а также сохранения пищевой ценности проводили в библиографических базах Scopus, Web of Science и Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU с применением дескрипторов: «консервирование», «нетермическая технология», «электролизная вода», «микроорганизмы», «ферменты», «инактивация», «биологически активные соединения», «пищевая ценность», «антиоксидантная активность». В качестве временных рамок для обзора научных публикаций был принят период с 2010 по 2024 г. Более ранние научные статьи изучали только при отсутствии новых публикаций по теме исследования. При выполнении работы применяли методы анализа, систематизации и обобщения. Изначально было отобрано и изучено 426 научных публикаций. Среди статей, соответствующих критериям включения, для составления данного обзора было выбрано 45 исследований.

Критерии включения и исключения для статей, подлежащих анализу, были следующими:

Критерии включения:

(1) Статья написана в период с 2010 по 2024 г.

(2) Статья соответствует теме исследования.

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

Критерии исключения:

(1) Статья не соответствует теме данного обзора: не касается тематики использования электролизованной воды в пищевой промышленности в качестве способа обработки растительного сырья.

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

Результаты исследования и их обсуждение

1. Принцип получения электролизованной воды

Электролизованную воду (ЭВ) получают путем электролиза раствора электролита (обычно хлорида натрия, NaCl) в электролизном аппарате. Электролизер разделен на анод и катод с помощью диафрагмы [9]. В процессе электролиза NaCl растворяется в воде и диссоциирует на ионы натрия (Na^+) и ионы хлора (Cl^-). При этом часть воды в растворе будет подвергаться электролизу на ионы водорода (H^+) и гидроксид-ионы (OH^-). Отрицательно заряженные ионы, включая Cl^- и OH^- , будут перемещаться к аноду и терять электроны, образуя кислород (O_2), газообразный хлор (Cl_2), ионы гипохлорита (ClO^-), хлорноватистую кислоту (HClO) и соляную кислоту (HCl). Положительно заряженные H^+ и Na^+ перемещаются к катоду, чтобы присоединить электроны, образуя водород (H_2) и гидроксид натрия (NaOH) [10]. После электролиза кислая электролизная вода (КЭВ) с pH от 2,0 до 3,5, высоким окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП) > 1000 мВ и концентрацией доступного хлора (КДХ) $10\text{--}90$ мг л⁻¹ генерируется на стороне анода. На стороне катода образуется щелочная электролизованная вода (ЩЭВ) с высоким pH (10,0–13,0) и низким ОВП (от -800 до -900 мВ) [11]. Недавно ученые разработали технологии нейтральной электролизной воды (НЭВ) и слабокислой электролизной воды (СКЭВ). НЭВ и СКЭВ получают путем электролиза разбавленного раствора NaCl и/или HCl в электролизере без диафрагмы между анодом и катодом. НЭВ имеет pH 7–8 и ОВП 750–900 мВ, тогда как СКЭВ представляет собой разновидность электролизной воды с более высоким pH (5,0–6,5) и более низким ОВП (850 мВ) по сравнению с КЭВ [9, 10]. В табл. 1 приведены основные характеристики различных типов ЭВ.

Таблица 1

Основные характеристики различных типов электролизованной воды

Тип электролизованной воды	Обозначение	pH	Окислительно-восстановительный потенциал ОВП (мВ)	Источник
Кислая электролизованная вода	КЭВ	2,0–3,5	> 1000	[11]
Слабокислая электролизованная вода	СКЭВ	5,0–6,5	850	[10]
Нейтральная электролизованная вода	НЭВ	7,0–8,0	от 750 до 900	[9]
Щелочная электролизованная вода	ЩЭВ	10,0–13,0	от -800 до -900	[10]

Преимущества и недостатки

Электролизованная вода (ЭВ) – это современный метод обработки по снижению микробного загрязнения, разложению остатков пестицидов и улучшению послеуборочного качества плодоовощного сырья, который, по-видимому, является одной из наиболее перспективных альтернатив токсичным химикатам. Его преимущества можно резюмировать следующим образом:

(1) Как упоминалось выше, ЭВ генерируется только путем электролиза разбавленного солевого раствора и дистиллированной воды, который прост в эксплуатации.

(2) При разбавлении водопроводной водой или водой после обратного осмоса ЭВ превратится в обычную воду, поэтому она оказывает незначительное неблагоприятное воздействие на окружающую среду и здоровье человека [12].

(3) Эксплуатационные расходы при использовании ЭВ незначительные, нужны только вода и соль.

(4) Благодаря своим неселективным антибактериальным свойствам ЭВ не вызывает развития резистентности микроорганизмов.

(5) В качестве нетермического метода ЭВ не оказывает неблагоприятного влияния на органолептические характеристики фруктов и овощей, такие как цвет, запах, вкус и текстура.

(6) ЭВ может производиться на месте, что позволяет избежать проблем, связанных с транспортировкой и хранением.

(7) По сравнению с гипохлоритом натрия (NaClO) времени на обработку ЭВ требуется меньше.

Поэтому способ обработки ЭВ считается недорогим, эффективным и экологически безопасным методом. С другой стороны, ЭВ имеет свои недостатки:

(1) Первоначальные затраты на приобретение оборудования могут быть относительно высокими.

(2) Присутствие органических веществ (таких как белок) снизит эффективность ЭВ, поскольку они будут реагировать со свободным хлором, уменьшая доступность хлора для дезинфекции.

(3) ЭВ не будет обладать антибактериальной активностью, если H^+ , Cl_2 и HOCl не поступают непрерывно путем электролиза [12].

(4) Антибактериальные свойства могут существенно снижаться при хранении с высокой температурой или при длительном хранении, поскольку ЭВ будет терять хлор из-за саморазложения.

(5) Некоторые модели установок производят Cl_2 при $\text{pH} < 5$, который раздражает кожу, что вызовет дискомфорт у обслуживающего персонала [11].

(6) ЭВ с экстремальным pH может вызывать коррозию пищевого оборудования.

2. Обработка ЭВ овощей и фруктов

Антимикробная активность ЭВ была общей темой исследований во многих странах, таких как США, Япония и Китай. Знание антимикробного механизма действия ЭВ будет способствовать более эффективному его применению в пищевой промышленности. Однако точный механизм антимикробной активности ЭВ до конца не изучен. Прямое окисление поверхности анода и косвенное окисление некоторых оксидантов, образующихся в растворе в процессе электролиза, являются основными причинами микробной инактивации [9]. Среди этих двух причин не прямое окисление, по-видимому, преобладает. Многие исследователи считали, что присутствие соединений хлора является основным фактором, нарушающим активность микробных клеток. Разновидности хлора (Cl_2 , HOCl и ClO^-) проявляют свои бактерицидные свойства, атакуя клеточную стенку, клеточную мембрану, клеточную рибосому, фермент, РНК и другие компоненты [13]. ClO^- разрушает внешнюю мембрану и инактивирует ключевые белки плазматической мембраны, что приводит к распаду клеточной стенки и клеточной мембраны [14]. HOCl считается наиболее активным соединением хлора, образующимся при электролизе, которое проникает в клетки и образует гидроксильные радикалы. HOCl повреждает микробную клеточную стенку и внутриклеточные органеллы, подавляя активность ферментов, разрушая ДНК и нарушая клеточные метаболические процессы, тем самым проявляя противомикробную активность. Кроме того, в процессе электролиза образуются другие окислители, такие как H_2O_2 , которые повреждают липидные компоненты и белки клеточной мембраны микроорганизмов, приводя к быстрой инактивации микроорганизмов [15]. Следовательно, ЭВ может оказывать свое антибактериальное действие главным образом за счет повреждения клеточной стенки, клеточной мембраны и цитоплазмы микроорганизмов.

Орошение жизненно важно для роста овощей и фруктов. Сельскохозяйственная оросительная вода составляет 70% от общего забора пресной воды в мире. Существует вероятность микробного загрязнения поливной воды из-за широкого круга ее источников [14]. Загрязненная оросительная вода переносит патогены в овощи и фрукты. Орошаемые продовольственные культуры, особенно зеленные листовые овощи, легко загрязняются микроорганизмами, содержащими поливную воду, поэтому каче-

ство поливной воды имеет решающее значение для обеспечения безопасности плодоовощного сырья. ЭВ показала высокую эффективность в обеззараживании загрязненной микроорганизмами поливной воды для овощей и фруктов. В ходе исследований сравнили антибактериальную эффективность НЭВ, NaClO и ClO₂ против отдельных и смешанных популяций *Escherichia coli*, *Listeria innocua* и *Salmonella enterica* серовара *Enteritidis* в воде. Результаты показали, что в некоторых случаях НЭВ была более эффективна в снижении микробной нагрузки, чем другие дезинфицирующие средства, и также установлено, что на ее эффективность влиял не диапазон условий pH, а скорее содержание органических веществ в воде. Точно так же в другом исследовании Ogunniyi A.D., Dandie C.E. и Ferro S. сравнили дезинфицирующее действие поливной воды, содержащей НЭВ и NaClO, на листья салата и молодого шпината, зараженные смесью *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* серовары *Enteritidis* и *Listeria innocua* [15]. Результаты показали, что орошение водой, содержащей НЭВ или NaClO, значительно снижало инокулированную бактериальную нагрузку на $\geq 1,5 \log_{10}$ КОЕ г⁻¹ на зараженных листьях. Тем не менее орошение NaClO оказало серьезное негативное влияние на качество двух овощей, в то время как НЭВ во время орошения не оказывала явного неблагоприятного воздействия на общий вид листьев в течение всего эксперимента [16, 17].

Дезинфекция фруктов и овощей

Хорошо известно, что микроорганизмы на поверхности свежих овощей и фруктов вызывают не только вспышки болезней пищевого происхождения, но и вызывают порчу плодоовощного сырья. ЭВ обладает высоким бактерицидным действием против широкого спектра микроорганизмов, таких как *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., дрожжевые и плесневые грибы. ЭВ способна уничтожать наиболее распространенные бактерии и грибки за относительно короткий промежуток времени (обычно в течение 5–20 с). Антибактериальный потенциал различных типов ЭВ в ходе обработки овощей и фруктов представлен в табл. 2.

Бактерии и грибы

ЭВ оказывает значительное влияние на удаление основных пищевых патогенов человека (*Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7 и *Salmonella*, *Enteritidis* и т.д.) из свежих фруктов и овощей. В исследовании Ogunniyi A.D и соавт.

проведено сравнение влияния НЭВ и дезинфицирующего средства на основе пероксиуксусной кислоты (Ecolab Tsunami® 100) на снижение общей микробной нагрузки (*Escherichia coli*, *Salmonella Enteritidis* и *Listeria innocua*) на молодых листьях шпината. Результаты показали, что обработка НЭВ и Ecolab Tsunami® 100 была эффективна в снижении бактериальной нагрузки на листья по сравнению с обработкой необработанной водой и водопроводной водой [17]. В другой работе исследовано влияние СКЭВ, КЭВ, водного озона (ВО), 1% лимонной кислоты (ЛК) и NaOCl на инактивацию пищевых патогенов (*Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium* и *Bacillus cereus*) в грибах вешенка. Эффективность стерилизации оценивалась следующим образом СКЭВ > NaOCl > ЛК > ВО [18]. Ученые Santo D. и др. изучали роль ультрафиолетового света УФ-С, КЭВ и НЭВ в снижении популяции *Cronobacter sakazakii* на свежесрезанных фруктах. Результаты показали, что количество *C. sakazakii* было значительно снижено с помощью ЭВ [25]. Кроме того, обработка ЭВ значительно улучшила съедобность, вес в свежем виде и длину ростков. В работе Zhang W.L. и соавт. проведено исследование эффективности удаления СКЭВ бактерий в ростках люцерны. Результаты показали, что СКЭВ значительно уменьшила количество энтеробактерий и не оказала отрицательного влияния на качество проростков [30]. В другом исследовании СКЭВ использовалась для опрыскивания ростков во время прорастания семян. По сравнению с обработкой водопроводной воды, обработка СКЭВ снизила общее количество бактерий и кишечных палочек на 0,99–1,58 и 0,57–1,02 log КОЕ/г соответственно [28]. Из-за высокой температуры сезона сбора урожая различные естественные грибки (такие как дрожжи и плесень) могут вызывать порчу свежего плодоовощного сырья. Недавние исследования показали, что ЭВ обладает большим дезинфицирующим потенциалом по борьбе с порчей овощей и фруктов вызываемой грибами. Ученые Vasquez-Lopez A. и др. исследовали влияние НЭВ (дозировка 10/30/60 мг/л⁻¹) на замедление скорости разложения плодов томатов, инокулированных *Fusarium oxysporum*, *Galactomyces geotrichum* и *Alternaria* sp.

Результаты показали, что НЭВ дозой 60 мг л⁻¹ значительно снижает заболеваемость плодов [29]. В работе Nyamende N.E. и соавт. изучена эффективность обработки ЦЭВ (доза 50, 100, 200, 300, 400 и 500 мг/л⁻¹) против *Botrytis cinerea* в яблоках [26].

Таблица 2

Результаты дезинфекции овощей и фруктов ЭВ при различных условиях обработки

Наименование сырья	Целевые микроорганизмы	Вид ЭВ	Время обр. (мин)	pH	ОВП (мВ)	Доза мг-л ⁻¹	Эффективность обработки	Источник
Листья шпината	<i>Escherichia coli</i> <i>S. enterica serovar Enteritidis</i> <i>Listeria innocua</i>	НЭВ	1	7	857	56	1,0 log КОЕг ⁻¹ 0,5 log КОЕг ⁻¹ 0,3 log КОЕг ⁻¹	[17]
Вешенка	<i>Escherichia coli</i> <i>O157:H7</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Salmonella typhimurium</i> and <i>Bacillus cereus</i>	СКЭВ	3	6,2	500–520	5	1,04–1,2 log КОЕг ⁻¹	[18]
Шпинат и салат	<i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella typhimurium</i> and <i>Listeria monocytogenes</i>	НЭВ	10	6,3–6,5	800–900	20/50/ 100/120	6,1–6,7 log ₁₀ КОЕмг ⁻¹	[19]
Салаты	<i>Salmonella</i> spp.	СКЭВ	≥ 0,75	6,38	875	50	4,0 log КОЕг ⁻¹	[20]
Капуста свеженарез.	Всего аэробных бактерий	СКЭВ	10	6,1	–	20	1,5 log КОЕг ⁻¹	[21]
Свежий органический салат	<i>Escherichia coli</i> и <i>Listeria innocua</i>	КЭВ	7	3,84	920,5	4	1,3 log КОЕг ⁻¹	[22]
Ростки люцерны	<i>Enterobacteriaceae</i>	СКЭВ	30	6	826	35	0,73–1,81 log КОЕг ⁻¹	[23]
Баклажаны свежесрезанные	Дрожжи и плесень	КЭВ СКЭВ	5	2,34 6,25	1170 861	51 31	1,51 log КОЕг ⁻¹ 1,92 log КОЕг ⁻¹	[24]
Мандарин	<i>Penicillium digitatum</i>	КЭВ	4	–	–	–	Снижение 66,6% порчи	[25]
Свежесрезанные яблоки, груши и дыни	<i>C. sakazakii</i>	КЭВ НЭВ	5	2,82 8,18	1121 762	103 94	1,3–1,8 log КОЕг ⁻¹ 1,0–1,2 log КОЕг ⁻¹	[26]
Яблоки	<i>B. cinerea</i>	ЩЭВ	5/10/15	11	>800	500	Снижение 22%	[27]
Манго	Дрожжи и плесень	НЭВ	5	8,5	800	2836	Ниже 10КОЕг ⁻¹	[28]
Яблоки свежесрезанные	Дрожжи	КЭВ	5	2,87	1113	102	1,86 log КОЕг ⁻¹	[29]
Плоды томатов	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Galactomyces geotrichum</i> и <i>Alternaria</i> sp.	НЭВ	5	7	850	60	Снижение заболеваемости на 20%	[30]

Результат показал, что обработка *B. cinerea* ЩЭВ привела к значительному уменьшению зон поражения по сравнению с контрольной группой. ЩЭВ концентрацией 200 мг л⁻¹ была эффективна в ингибировании развития *B. cinerea*. Кроме того, в последнее время ЭВ используется для дезинфекции свежесрезанных фруктов и овощей. Так, например, исследователи Koide S., Takeda J., Shi J., Shono H. и Atungulu G.G. сравнили дезинфицирующее действие СКЭВ с раствором NaOCl при обработке свежесрезанной капусты [20]. Статистический анализ показал, что СКЭВ уменьшила количество плесени и дрожжей примерно

на 1,3 log КОЕ г⁻¹. СКЭВ обладает более высокой дезинфицирующей эффективностью, чем раствор NaOCl. Другое подобное исследование показало, что КЭВ НЭВ оказывают значительное ингибирующее действие на дрожжи свежесрезанных яблок по сравнению с раствором NaOCl [29]. Группа китайских ученых исследовала ингибирующее действие КЭВ и СКЭВ на дрожжи и плесень в свеженарезанных баклажанах во время хранения. Результаты показали, что обработка КЭВ и СКЭВ явно снижает популяцию дрожжей и плесени в свеженарезанных баклажанах [25]. Кроме того, обработка НЭВ эффективно уменьшила коли-

чество плесени и дрожжей на свежесрезанном манго [28]. Таким образом, КЭВ, СКЭВ и НЭВ являются перспективными методами стерилизации плодоовощного сырья без тепловой обработки, которые могут эффективно ингибировать различные микроорганизмы на свежих фруктах и овощах.

Стойкость пестицидов во фруктах и овощах зависит от природы пестицидов, условий окружающей среды и характеристики самого плодоовощного сырья. Одни пестициды быстро разлагаются, другие остаются стабильными. Скорость удаления пестицидов зависит от многих факторов, которые можно обобщить следующим образом:

1. *Расположение пестицидов.* Если остатки пестицидов находятся на поверхности сырья, их можно удалить путем мытья. Однако если остаток пестицида оседает в тканях, то воздействие ЭВ на него будет происходить в узком диапазоне. Это связано с тем, что восковой слой предотвращает контакт пестицида с моющим раствором.

2. *Время обработки.* Как правило, чем дольше время промывки, тем выше эффективность удаления остатков пестицидов. Это связано с тем, что чем дольше время промывки, тем больше пестицидов будет растворено. Однако окончательное определение времени мойки должно также учитывать влияние времени мытья на свойства текстуры обрабатываемого сырья.

3. *Растворимость пестицидов.* Жирорастворимые пестициды легко удаляются ЭВ, так как содержат гидрофобные группы, плохо растворимые в воде. ЭВ обладает хорошими эмульгирующими свойствами [31].

4. *Температура мойки.* Эффект промывки будет усиливаться при повышении температуры, а удаление термически нестабильных пестицидов более заметно при высоких температурах. Это связано с тем, что высокая температура ускоряет химическое разложение термически нестабильных пестицидов.

5. *Виды пестицидов и моющих средств.* Скорость удаления фосфорорганических пестицидов с помощью КЭВ И СКЭВ выше, чем с помощью ЩЭВ и водопроводной воды. Эффективность ЭВ при разложении пестицидов зависит от значения рН. Доступный хлор в ЭВ в основном существует в форме хлорноватистой кислоты при рН от 3 до 6,5. Хлорноватистая кислота является сильным окислителем. Фосфорорганические пестициды содержат двойные связи и легко окисляются хлорноватистой кислотой [32].

6. *Адсорбционные свойства овощей и фруктов.* Эффективность удаления пестицидов в различных овощах и фруктах хо-

рошо коррелирует с адсорбционными свойствами. Адсорбционное действие определяется адсорбатом и адсорбентом. Некоторые виды сырья легко поглощают пестициды, оставляя больше остатков пестицидов на своей поверхности

Результаты многих научных исследований показали, что ЭВ может уменьшить/удалить различные остатки пестицидов в овощах и фруктах. Так, например, Pattanapo W. и соавт. исследовали влияние ЩЭВ с различной дозировкой (100, 250, 500 и 1000 мг/л⁻¹) на удаление остатков карбендазима из помидоров черри [32]. Результаты анализа показали, что обработка ЩЭВ значительно уменьшила остаток карбендазима на 60,36; 80,49; 67,32 и 64,68% после промывания 100, 250, 500 и 1000 мг л⁻¹ ЩЭВ соответственно в течение 30 мин. Исследовано влияние ЩЭВ и КЭВ на удаление пестицидов из свежесрезанной капусты, брокколи и цветного перца [33]. Установлено, что обработка ЩЭВ И КЭВ эффективно разлагала остатки пестицидов во всех образцах. КЭВ эффективно удаляла пиретроиды и органофосфаты, тогда как ЩЭВ эффективно удаляла фунгициды. Ученые Нео J. и Liu H.J. изучили влияние КЭВ и ЩЭВ на сокращение остатков трех пестицидов (ацефата, ометоата и диметилдихлорвинилфосфата) в овощах [34]. Результаты показали, что обработка КЭВ и ЩЭВ эффективно уменьшала остаточное количество пестицидов после замачивания в течение 30 мин. Остаточное количество пестицидов уменьшалось с увеличением времени замачивания. В другом исследовании данных авторов исследована эффективность деградации пестицидов КЭВ (дозировка 20/70/120 мг/л⁻¹) и ЩЭВ на остатки пестицидов в свежих продуктах [32]. Установлено, что КЭВ более эффективна в удалении пестицидов, чем ЩЭВ. Кроме того, высокая концентрация и длительная обработка привели к лучшему удалению пестицидов. Учитывая результаты исследований, можно сделать вывод, что ЭВ может быть потенциальной стратегией удаления остатков пестицидов в овощах и фруктах.

Вместе с тем следует отметить, что в настоящее время механизм деградации остатков пестицидов в плодоовощное сырье с помощью ЭВ до конца не изучен. ЭВ устраняет остатки пестицидов на поверхности растительного сырья, что во многом определяется его физико-химическими свойствами. ЭВ обладает сильными окислительными свойствами. Среди электролизированных вод КЭВ имеет низкий рН и высокий окислительно-восстановительный потенциал. ЩЭВ имеет высокий рН и хорошие

эмульгирующие свойства. Большинство фосфорорганических пестицидов, включая ацефаты, ометоаты и ДДФФ, содержат двойные связи «Р = S» и «С = О». Нуклеофилы легко способствуют разрыву двойных связей фосфорорганических пестицидов как при обработке КЭВ, так и ЩЭВ [31, 35]. ЭВ обладает высокой способностью удалять большинство пестицидов, особенно тех, которые содержат двойные связи. Однако необходимы дополнительные исследования, чтобы изучить конкретный механизм разложения пестицидов ЭВ, чтобы способствовать дальнейшему внедрению данного метода обработки.

Влияние ЭВ на физико-химические показатели качества фруктов и овощей

Свежие овощи и фрукты проявляют высокую дыхательную и метаболическую активность, что приводит к потере воды и ухудшению качества при хранении. Многие исследования показали, что ЭВ оказывает положительное влияние на сохранение внешнего вида и пищевой ценности

фруктов и овощей после сбора урожая (табл. 3). Основные показатели включают жесткость плодов, pH, содержание растворимых твердых веществ (СВ), общее содержание фенолов (ТРС), растворимый сахар, аскорбиновую кислоту (АСК) и титруемую кислотность (ТК). В работе Hayta E. и Aday M.S. изучено влияние различных концентраций ЭВ (25, 50, 100, 200, 300 и 400 мг л⁻¹) на качественные показатели черешни при хранении [36]. Результаты эксперимента показали, что низкие концентрации ЭВ (25, 50 и 100 мг л⁻¹) были эффективны для поддержания различных показателей качества образца во время хранения, таких как pH, потеря веса, концентрация газа в упаковках, активность воды, плотность, СВ, профиль антоцианов и скорость гниения. Физико-химические свойства черешни претерпели нежелательные изменения при воздействии ЭВ в концентрации выше 200 мг/л⁻¹. Ученый Chen Y.H. и соавт. оценили влияние КЭВ на послеуборочный период хранения двух сортов ягод голубики (Brightwell и Camellia) [37].

Таблица 3

Влияние электролизованной воды на физико-химические свойства фруктов и овощей

Наименование сырья	Вид ЭВ	Параметры обработки	Эффективность обработки	Ист.
Черешня	КЭВ	концентрация 25/50/100/200/300/400 мг л ⁻¹ , время 3 мин.	ЭВ (< 200 мг л ⁻¹) способствует сохранению физико-химические свойств (pH, общее количество растворимых сухих веществ, активность воды, потерю веса, плотность, цвет и профиль антоцианов) черешни	[36]
Черника	КЭВ	pH = 2,8, ОВП = 1125 мВ, концентрация 48 мг л ⁻¹ , 5 мин	КЭВ подавляла гниение и размягчение плодов, поддерживала высокое содержание антоцианов и общих фенолов, замедляла повышение проницаемости клеточных мембран	[38]
Финики	УФ-С+ЩЭВ	УФ-С: 6,22 кДж м ⁻² ; ЩЭВ: pH = 11,28, ОВП = -880 мВ, концентрация 1,83 мг л ⁻¹	УФ-С + ЩЭВ может сохранить хорошие физико-химические свойства (потеря веса, плотность, pH, титруемая кислотность, активность воды, содержание сахаров и фенолов и цвет) фруктов	[39]
Персики	СКЭВ	СКЭВ: pH = 6,1, ОВП 947,6 мВ, концентрация 21 мг л ⁻¹ , 5 мин	Обработка СКЭВ показала незначительные изменения цвета мякоти, производство этилена, общее содержание фенолов и целостность мембраны	[40]
Поздние сорта апельсинов «Валенсия»	КЭВ	pH = 2,6, конц. 2,8 мг л ⁻¹ , ОВП = -240 мВ	ЩЭВ и КЭВ не оказали отрицательного влияния на качество апельсинов (потеря массы, СВ, лимонной кислоты, pH, аскорбиновой кислоты и индекса окраски плодов)	[41]

Результаты показали, что обработка КЭВ эффективно сохраняла качественные характеристики двух сортов, такие как твердость и состав целлюлозы. Снижение мягкости структуры после обработки ЭВ на голубике *Camellia* был выше, чем на голубике *Brightwell*. В другой работе эти авторы исследовали влияние обработки КЭВ на свойства черники при хранении. Результаты показали у черники, обработанной КЭВ, более низкую скорость гниения плодов, более высокую плотность плодов и твердость кожуры, а также более высокое содержание антоцианов и ТРС по сравнению с обработкой дистиллированной водой [38].

Очевидно, что внешний вид является самым непосредственным показателем, влияющим на выбор потребителя. Неправильное хранение свежих овощей и фруктов приведет к нежелательным изменениям органолептических характеристик, что повлияет на общее качество и приемлемость для потребителей. В некоторых исследованиях сообщается о влиянии ЭВ на сенсорное качество фруктов и овощей. После того, как морковь была обработана ЩЭВ, группа из пяти экспертов провела оценку цвета, твердости, свежего аромата и общей приемлемости образцов во время хранения. Результаты показали, что срок годности необработанной моркови был ограничен 9 днями с органолептической точки зрения. Срок годности обработанных образцов может быть увеличен до 15 дней [42]. Ученые Jemni M., Gomez P.A., Souza M. провели исследование, обработав плоды финиковой пальмы только КЭВ, а также комбинированным способом с применением УФ-С и ЭВ. Финики, обработанные УФ-С + КЭВ, сохранили лучшие органолептические качества, особенно по сравнению с необработанными образцами [39]. Цвет был наиболее заметным изменением из всех параметров во время хранения. Послеуборочную черешню обрабатывали ЭВ (25, 50, 100, 200, 300 и 400 мг/л⁻¹). Было обнаружено, что органолептические показатели всех групп снижались с увеличением времени хранения. Концентрации ЭВ более 200 мг л⁻¹ оказывали неблагоприятное воздействие на органолептические показатели и вызывали неприятный вкус [36]. Авторы Mansur A.R., Oh D.H. оценили влияние термозвуковой обработки (TS) в сочетании с СКЭВ на органолептические показатели качества свеженарезанной капусты во время хранения [43]. Результаты показали, что органолептический срок хранения капусты, обработанной TS + СКЭВ, превысил 14 дней, в то время как срок годности необработанной капусты был <12 дней. Основываясь

на результатах этих исследований, обработка ЭВ представляется перспективным способом обработки, который способствует сохранению органолептических показателей качества и продлению срока годности плодоовощного сырья.

Влияние ЭВ на активность ферментов

Все биохимические реакции в сырье осуществляются с участием ферментов. Благодаря высокому катализу и специфичности ферментов к реагентам ферменты доминируют во всей жизнедеятельности фруктов и овощей. Ферментативная активность отражает изменение качества сырья, высокая активность ферментов приведет к различным метаболическим нарушениям и быстро снизит способность к хранению и устойчивость к болезням послеуборочных овощей и фруктов, что повлияет на их срок годности. В процессе хранения и переработки сырья высокая ферментативная активность является важным фактором, приводящим к ухудшению качества и потере питательных веществ. Поэтому было разработано множество технологий для регулирования активности ферментов, включая термические и нетермические технологии. По сравнению с традиционными методами нагрева нетермическая технология имеет больше преимуществ, поскольку она не разрушает питательные вещества в овощах и фруктах, а также является экологически чистой и сокращает время обработки. В последние годы среди нетермических технологий выделяют и обработку ЭВ [4, 6]. До сих пор механизм ЭВ, регулирующий активность ферментов, не ясен и нуждается в дальнейшем изучении. РРО (ПФО – полифинилоксидаза) является основным ферментом, участвующим в процессе созревания овощей и фруктов. При механическом повреждении плода фенолаза связывается с фенольными соединениями, и в присутствии кислорода происходит побурение. ПФО катализирует гидроксильное монофенола (монофенолаза) и окисление о-дифенола в о-хинон (дифенолаза) и, наконец, полимеризуется в коричневый пигмент [23]. РОД (ПОД – полиоксидаза) окисляет различные субстраты в присутствии перекиси водорода. Авторы Liu Y., Wang J., Zhu X.R. провели анализ влияния обработки КЭВ на ингибирование ферментативной реакции потемнения в различных частях ломтиков сладкого картофеля во время хранения. Статистические результаты показали, что обработка КЭВ оказала положительное влияние на ингибирование активности ПФО и ПОД [33]. Кроме того, некоторые ферменты, разрушающие клеточную стен-

ку, такие как полигалактуроназы (PG – ПГ), целлюлазы и пектинметилэстераза (PME – ПМЭ), вызывают постепенное снижение твердости свежих овощей и фруктов и возникновение размягчения. В ходе исследований установлено, что ЭВ задерживает размягчение плодоовощного сырья, ингибируя активность этих ферментов [37]. Результаты показали, что обработка КЭВ подавляла активность различных ферментов, разрушающих клеточную стенку (CWDE: PG, целлюлазы и β -галактозидаза) и задерживала размягчение двух сортов при хранении. В другом исследовании также установлено, что обработка персиков СКЭВ существенно замедляет размягчение за счет ингибирования активности PG и PME [41]. Ингибирующая активность может быть связана со снижением продукции этилена при обработке плодов и овощей. Известно, что обработка плодоовощного сырья может снизить микробную нагрузку и подавлять процесс размножения микробов в сырье, что может привести к меньшему повреждению плодов и выработке этилена. Необходимы дальнейшие исследования, чтобы выяснить, связано ли это ингибирующее воздействие на активность ферментов, разрушающих клеточную стенку, в собранных плодах во время хранения со снижением выработки этилена при обработке фруктов и овощей.

Обработка фруктов и овощей ЭВ усиливает их антиоксидантную способность. Например, ЭВ повышает активность ферментативной антиоксидантной системы, включающей супероксиддисмутазу (СОД), каталазу (КАТ) и аскорбатпероксидазу (АПД), для удаления активного кислорода, тем самым улучшая качество свежих овощей и фруктов. Авторы Chen Y.H., Hung Y.C., Chen M.Y., Lin M.S. и др. изучали влияние обработки КЭВ на сохранность черники при хранении. Результаты показали, что обработка КЭВ сохраняла более высокую активность СОД, КАТ и АПД и более высокую антиоксидантную способность по сравнению с контрольной группой [38]. Точно так же Zhi H.H. и соавт. исследовали влияние обработки СКЭВ на антиоксидантную систему персика во время хранения. Результаты показали, что обработка СКЭВ поддерживает высокую активность СОД и КАТ и замедляет процесс увядания персика [44]. Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что обработка ЭВ может улучшить качество хранения свежих овощей и фруктов за счет регулирования активности ферментов [45].

3. Преимущества и недостатки использования обработки ЭВ растительного сырья ЭВ, как простая, недорогая, эффективная и экологичная технология, показала

высокое бактерицидное действие на все виды микробов. Кроме того, ЭВ играет важную роль в удалении остатков пестицидов из овощей и фруктов, препятствуя ухудшению их качества и продлевая срок годности. После одобрения органов здравоохранения данного метода обработки как безопасного и утверждения нормативных документов метод обработки ЭВ может постепенно получить промышленное внедрение. Вместе с тем необходимо отметить наличие нерешенных проблем:

1. Механизмы антибактериальной и ингибирующей активности ферментов до настоящего времени не выяснены. Нет четкого понимания, как конкретно влияют свойства электролизованной воды pH, ОВП, концентрацией или комбинацией составных параметров. В будущем для изучения бактерицидного механизма ЭВ необходимо использовать многие передовые технологии. Наблюдение путей действия и процессов с бактериями на цитологическом и молекулярно-биологическом уровнях будет способствовать выявлению механизма бактерицидного действия.

2. В доступной на момент данного исследования литературе изучалось влияние ЭВ на физико-химическое качество плодоовощного сырья. Несколько исследований показали влияние ЭВ на физиологический метаболизм фруктов и овощей. Поэтому необходимы дополнительные дальнейшие исследования для оценки эффективности ЭВ на физиологический метаболизм сырья после сбора урожая.

3. Несмотря на разложение широкого спектра остаточных количеств пестицидов под действием ЭВ, все еще существуют многие отличительные особенности между различными структурными типами пестицидов. Для достижения наилучшего эффекта удаления необходимо установить оптимальные рабочие параметры ЭВ при разложении остатков пестицидов, включая концентрацию, значение ОВП, значение pH и рабочую температуру.

4. Отношение и восприятие потребителей являются ключевым фактором, влияющим на разработку и применение новейших технологий в пищевой промышленности. В настоящее время взгляды потребителей на использование ЭВ не установлены, а данные об их мнениях сложно собрать и систематизировать. С этой целью необходимо обеспечить максимальную вовлеченность организаций в оценку мнений потребителей на ЭВ, показывая положительное воздействие электролизованной воды на продукты питания и ее экономические и экологические преимущества.

5. Необходимо продолжить исследования по обеспечению стабильности работы оборудования ЭВ, с целью снижения возможности коррозии оборудования и безопасности трубопроводов процессе обработки фруктов и овощей ЭВ.

Заключение

Для дальнейшего улучшения антибактериального действия электролизованной воды необходимо продолжать исследования по комбинированному взаимодействию ЭВ с другими технологиями, такими как O_3 , УФ-С, кратковременный нагрев и ультразвук, холодная плазма и др. В настоящее время тенденция промышленного внедрения метода обработки ЭВ имеет положительную динамику. С развитием портативных генераторов воды с электролизом, обработку ЭВ возможно будет применять в домашних условиях, например для дезинфекции кухонь и машин для очистки овощей и фруктов. Как нетермическая технология, ЭВ может использоваться для сохранения качества и безопасности растительного сырья. По сравнению с другими традиционными методами способ обработки ЭВ имеет многие преимущества, такие как отсутствие загрязнения, высокая эффективность обеззараживания и простота эксплуатации. Для большинства фруктов и овощей, особенно листовых овощей, обработка ЭВ способствует удалению микроорганизмов и остатков пестицидов. ЭВ также можно использовать для регулирования активности многих ферментов и сохранения цвета, питательных веществ и текстуры фруктов и овощей. Кроме того, ЭВ демонстрирует высокую степень синергизма со многими другими методами обработки, такими как ультразвук и УФ-С. Эти комбинации не только улучшают стерилизацию овощей и фруктов, но также улучшают качество их хранения после сбора урожая и продлевают срок годности. Хотя потенциал применения метода обработки ЭВ очевиден, существуют и его негативные последствия и ограничивающие факторы. Следует отметить, что слишком длительное замачивание приведет к потере питательных веществ овощей и фруктов. Особенности химического состава сырья, количество органических веществ в нем снизит дезинфицирующую активность электролизованной воды. Следует проводить дальнейшие научные исследования с целью апробирования новых эффективных, экономически выгодных, экологически безопасных комбинированных технологий ЭВ для снижения микробиологической порчи и сохранения растительного сырья.

Список литературы

1. Бурак Л.Ч., Сапач А.Н. Использование технологии омического нагрева в процессе переработки плодов и овощей. Обзор предметного поля // Пищевые системы. 2024. Т. 7, № 1. С. 59–70. DOI: 10.21323/2618-9771-2024-7-1-59-70.
2. Liu D.K., Xu C.C., Guo C.X., Zhang X.X. Sub-zero temperature preservation of fruits and vegetables: A review // Journal of Food Engineering. 2020. Vol. 275. P. 109881. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2019.109881.
3. Zhao L., Li S.B., Yang H.S. Recent advances on research of electrolyzed water and its applications // Current Opinion in Food Science. 2021. Vol. 42. P.180–188. DOI: 10.1016/J.COFS.2021.03.004.
4. Бурак Л.Ч. Использование современных технологий обработки для увеличения срока хранения фруктов и овощей. Обзор предметного поля // Ползуновский вестник. 2024. № 1. С. 99–119. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.013.
5. Qi H., Huang Q.G., Hung Y.C. Effectiveness of electrolyzed oxidizing water treatment in removing pesticide residues and its effect on produce quality // Food Chemistry. 2018. Vol. 239. P. 561–568. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.06.144.
6. Бурак Л.Ч. Существующие способы обработки пищевых продуктов и их влияние на пищевую ценность и химический состав // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. № 3. С. 59–73. DOI: 10.24412/2311-6447-2021-3-59-73.
7. Fan K., Wu J., Chen L. Ultrasound and its combined application in the improvement of microbial and physicochemical quality of fruits and vegetables: A review // Ultrasonics Sonochemistry. 2021. Vol. 80, Is. 1. P.105838. DOI: 10.1016/j.ulsonch.2021.105838.
8. Azam S.R., Ma H., Xu B., Devi S., Siddique M.A.B., Stanley S.L., Zhu J. Efficacy of ultrasound treatment in the removal of pesticide residues from fresh vegetables: A review // Trends in Food Science & Technology. 2020. Vol. 97, Is. 9. P. 417–432. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.01.028.
9. Iram A., Wang X., Demirci A. Electrolyzed oxidizing water and its applications as sanitation and cleaning agent // Food Eng Rev. 2021. Vol. 13, Is. 2. P. 411–427 DOI: 10.1007%2Fs12393-021-09278-9.
10. Huang Y.R., Hung Y.C., Hsu S.Y., Huang Y.W., Hwang D.F. Application of electrolyzed water in the food industry // Food control. 2008. Vol. 19, Is. 4. P. 329–345.
11. Rahman S.M.E., Khan I., Oh D.H. Electrolyzed water as a novel sanitizer in the food industry: current trends and future perspectives // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2016. Vol. 15. P. 471–490.
12. Chakka A.K., Sriraksha M.S., Ravishankar C.N. Sustainability of emerging green non-thermal technologies in the food industry with food safety perspective: a review // LWT-Food Science and Technology. 2021. Vol. 151. P. 112140 DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112140.
13. Liao X.Y., Xuan X.T., Li J. Bactericidal action of slightly acidic electrolyzed water against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* via multiple cell targets // Food Control. 2017. Vol. 79. P. 380–385. DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.03.050.
14. Deng L.Z., Mujumdar A.S., Pan Z.L. Emerging chemical and physical disinfection technologies of fruits and vegetables: a comprehensive review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020. Vol. 60. P. 2481–2508. DOI: 10.1080/10408398.2019.1649633.
15. Ogunniyi A.D., Dandie C.E., Ferro S. Comparative antibacterial activities of neutral electrolyzed oxidizing water and other chlorine-based sanitizers // Scientific Reports. 2019. Vol. 9. P. 19955. DOI: 10.1038/s41598-019-56248-7.
16. Ogunniyi A.D., Tenzin S., Ferro S. A pH-neutral electrolyzed oxidizing water significantly reduces microbial contamination of fresh spinach leaves // Food Microbiology. 2021. Vol. 93. P. 103614. DOI: 10.1016/j.fm.2020.103614.

17. Ding T., Rahman S.M.E., Oh D.H. Inhibitory effects of low concentration electrolyzed water and other sanitizers against food-borne pathogens on oyster mus-hroom // *Food Control*. 2011. Vol. 22. P. 318–322. DOI: 10.1016/j.foodcont.2010.07.030.
18. Guentzel J.L., Lam K.L., Callan M.A., Emmons S.A., Dunham V.L. Reduction of bacteria on spinach, lettuce, and surfaces in food service areas using neutral electrolyzed oxidizing water // *Food Microbiology*. 2008. Vol. 25. P. 36–41.
19. Cap M., Rojas D., Fernandez M. Effectiveness of short exposure times to electrolyzed water in reducing salmonella spp. and imidacloprid in lettuce // *LWT-Food Science and Technology*. 2020. Vol. 128. P. 109496. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109496.
20. Koide S., Takeda J., Shi J., Shono H., Atungulu G.G. Disinfection efficacy of slightly acidic electrolyzed water on fresh cut cabbage // *Food Control*. 2009. Vol. 20. P. 294–297.
21. Zhao L., Zhao M.Y., Phey C.P. & Yang H.S. Efficacy of low concentration acidic electrolysed water and levulinic acid combination on fresh organic lettuce (*Lactuca sativa* Var. Crispa L.) and its antimicrobial mechanism // *Food Control*. 2019. Vol. 101. P. 241–250. DOI: 10.1016/j.foodcont.2019.02.039.
22. Zhang W.L., Cao J.K. Jiang W.B. Application of electrolyzed water in postharvest fruits and vegetables storage: a review. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 114. P. 599–607. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.06.005.
23. Li X.H., Yue H., Xu S.S., Tian J.Y., Zhao Y., Xu J.F. The effect of electrolyzed water on fresh-cut eggplant in storage period // *LWT – Food Science and Technology*. 2020. Vol. 123. P.109080. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109080.
24. Whangchai K., Saengnil K., Singkamanee C., Uthai-butra J. Effect of electrolyzed oxidizing water and continuous ozone exposure on the control of *Penicillium digitatum* otagerine cv. ‘Sai Nam Pung’ during storage // *Crop Protection*. 2010. Vol. 29. P. 386–389.
25. Santo D., Graca A., Nunes C. Quintas C. Survival and growth of *Cronobacter sakazakii* on fresh-cut fruit and the effect of UV-C illumination and electrolyzed water in the reduction of its population // *International Journal of Food Microbiology*. 2016. Vol. 231. P. 10–15.
26. Nyamende N.E., Domtchouang F.R., Belay Z.A., Zane-phyn K., Ayodeji O., Oluwafemi C.J. Alternative postharvest pre-treatment strategies for quality and microbial safety of ‘granny smith’ apple // *Heliyon*. 2021. Vol. 7. № e07104. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e07104.
27. Lopes M.M.D., Lucena H.H., Silveira M.R.S. The use of electrolyzed water as a disinfectant for fresh cut mango // *Scientia Horticulturae*. 2021. Vol. 287. P. 110227. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110227.
28. Graca A., Santo D., Pires-Cabral P. & Quintas C. The effect of UV-C and electrolyzed water on yeasts on fresh-cut apple at 4°C // *Journal of Food Engineering*. 2020. Vol. 282. P. 110034. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110034.
29. Vasquez-Lopez A., Villarreal-Barajas T., Rodriguez-Ortiz G. Effectiveness of neutral electrolyzed water on incidence of fungal rot on tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.) // *Journal of Food Protection*. 2016. Vol. 79. P. 1802–1806. DOI: 10.4315/0362-028x.jfp-15-494.
30. Zhang C.L., Zhang Y.Y., Zhao Z.Y. The application of slightly acidic electrolyzed water in pea sprout production to ensure food safety, biological and nutritional quality of the sprout // *Food Control*. 2019. Vol. 104. P. 83–90.
31. Bhilwadikar T., Pounraj S., Manivannan S., Rastogi N.K., Negi P.S. Decontamination of microorganisms and pesticides from fresh fruits and vegetables: a comprehensive review from common household processes to modern techniques // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019. Vol. 18. P. 1003–1038. DOI: 10.1111/1541-4337.12453.
32. Pattanapo W., Whangchai K., Uthai-butra J., Pankasem-suk T., Chanasut U. Effect of electrolyzed reducing water with various concentration on carbendazim removal in cherry tomato // *International Journal of Geomate*. 2020. Vol. 18, Is. 68. P. 54–59. DOI: 10.21660/2020.68.5618.
33. Liu Y., Wang J., Zhu X.R. Effects of electrolyzed water treatment on pesticide removal and texture quality in fresh-cut cabbage, broccoli, and color pepper // *Food Chemistry*. 2021. Vol. 353. P. 129408. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129408.
34. Hao J., Wuyundalai Liu H.J. Reduction of pesticide residues on fresh vegetables with electrolyzed water treatment // *Journal of Food Science*. 2011. Vol. 76, Is. 4. P. 520–524. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2011.02154.x.
35. Caner C., Tiryaki K., Pala Ç.U., Yüceer M. Combined effect of electrolyzed water (EW) and sonication with equilibrium modified atmosphere packaging for prolonging storage stability of fresh strawberry // *Food Science and Technology International*. 2024. Vol. 1. DOI: 10.1177/10820132241227009.
36. Hayta E., Aday M.S. The effect of different electrolyzed water treatments on the quality and sensory attributes of sweet cherry during passive atmosphere packaging storage // *Postharvest Biology and Technology*. 2015. Vol. 102. P. 32–41. DOI: 10.1016/J.POSTHARVBIO.2015.02.009.
37. Chen Y.H., Hung Y.C., Chen M.Y., Lin H.T. Effects of acidic electrolyzed oxidizing water on retarding cell wall degradation and delaying softening of blueberries during postharvest storage // *LWT-Food Science and Technology*. 2017. Vol. 84. P. 650–657. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.06.011.
38. Chen Y.H., Hung Y.C., Chen M.Y., Lin H.T. Enhanced storability of blueberries by acidic electrolyzed oxidizing water application may be mediated by regulating ROS metabolism // *Food Chemistry*. 2019. Vol. 270. P. 229–235. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.07.095.
39. Jemni M., Gomez P.A., Souza M. Combined effect of UV-C, ozone, and electrolyzed water for keeping overall quality of date palm // *LWT-Food Science and Technology*. 2014. Vol. 59, Is. 2. P. 649–655. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.07.016.
40. Zhou R., Zhang G.X., Hu Y.S., Wu H., Xie J., Luo Y.D. Reductions in flesh discoloration and internal morphological changes in Nanhui peaches (*Prunus persica* (L.) Batsch, cv. Nanhui) by electrolysed water and 1-methylcyclopropene treatment during refrigerated storage // *Food Chemistry*. 2012. Vol. 135, Is. 3. P. 985–992. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.05.040.
41. Youssef K., Hussien A. Electrolysed water and salt solutions can reduce green and blue molds while maintain the quality properties of ‘Valencia’ late oranges // *Postharvest Biology and Technology*. 2020. Vol. 159. P. 11102. DOI: 10.1016/J.POSTHARVBIO.2019.111025.
42. Rahman S.M.E., Jin Y.G., Oh D.H. Combination treatment of alkaline electrolyzed water and citric acid with mild heat to ensure microbial safety, shelf-life and sensory quality of shredded carrots // *Food Microbiology*. 2011. Vol. 28, Is. 3. P. 484–491. DOI: 10.1016/j.fm.2010.10.006.
43. Mansur A.R., Oh D.H. Combined effects of harmonization and slightly acidic electrolyzed water on the microbial quality and shelf-life extension of fresh-cut kale during refrigeration storage // *Food Microbiology*. 2015. Vol. 51. P. 154–162. DOI: 10.1016/j.fm.2015.05.008.
44. Zhi H.H., Liu Q.Q., Dong Y., Liu M.P., Zong W. Effect of calcium dissolved in slightly acidic electrolyzed water on antioxidant system, calcium distribution, and cell wall metabolism of peach in relation to fruit browning // *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2017. Vol. 92. P. 621–629. DOI: 10.1080/14620316.2017.1309994.
45. Бурак Л.Ч. Влияние современных способов обработки и стерилизации на качество плодовоовощного сырья и соковой продукции. М.: ИНФРА-М, 2025. 236 с. DOI: 10.12737/0.12737/2154991.