

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРООЗОНИРОВАНИЯ НА СРОК ХРАНЕНИЯ СПЕЛОЙ КЛУБНИКИ

Е. Л. Белов, Н. Р. Долгов, К. А. Хафизов, И. Г. Галиев, Р. Р. Ахметзянов

Реферат. Сохранение свежести фруктов и ягод имеет огромное значение не только для их вкуса, но и для сохранения их питательных свойств. Озонирование является одним из высокоэффективных методов для уничтожения бактериальной микрофлоры и сохранения продуктов питания на длительное время. Озон – сильный дезинфицирующий газ, обладающий мощным дезинфицирующим действием; в озонированных продуктах сильно снижаются биохимические процессы. Цель исследований – изучение влияния обработки озоном на сохранность и качество ягод, на примере клубники, в процессе хранения. В лабораторных условиях в Чувашской ГАУ проведены эксперименты по электроозонированию спелой клубники. Для этого была разработана и реализована экспериментальная установка для исследования влияния озонирования. В серии однофакторных экспериментов определяли сохранность, внешний вид ягод и количество микрофлоры после 6 суток хранения. Озонирование ягод проводилось в специальных контейнерах при концентрации озона 6 мг/м^3 , продолжительностью 2 часа – 2 раза в сутки. Внешний вид и вкус ягод клубники, обработанных озонированием в течение шести суток не изменился; численность микроорганизмов на поверхности ягод при хранении до шести суток соответствует нормам ГОСТ 29187-91. Визуальный осмотр ягод в контрольном образце на шестые сутки хранения показал, что 90 % ягод были поражены плесневыми грибами. Необработанные ягоды потеряли свою форму, размякли, появилась гнилостная микрофлора; площадь поверхности пораженной плесневыми грибами достигла более 90%. Таким образом, озонирование показало высокую эффективность в сохранении свежести, внешнего вида и качества клубники при хранении. Обработка озоном значительно снижает развитие патогенной микрофлоры и предотвращает порчу ягод. Этот метод может быть рекомендован для продления срока хранения фруктов и ягод в пищевой промышленности.

Ключевые слова: озон, озонирование, клубника, срок хранения.

Введение. Срок годности продуктов питания является актуальной темой для производителей и потребителей. Фрукты являются важным источником витаминов, минералов и других полезных веществ, однако их срок годности ограничен. Сохранение свежести скоропортящихся продуктов питания, особенно овощей, фруктов и ягод, является важнейшей задачей при хранении продуктов питания. Несмотря на то, что эти продукты имеются в изобилии в торговых точках, они часто быстро портятся, что влияет на их питательные качества [1, 2, 3]. Основными факторами, влияющими на естественные потери фруктов и овощей являются: несоблюдение оптимальных условий хранения, нарушение температурного режима, повреждение во время уборки или транспортировки, а также присутствие грибковых и бактериальных инфекций и др. Решение проблем доставки и транспортировки таких продуктов имеет первостепенное значение в современной дистрибуции продуктов питания.

Поскольку население мира растет и спрос на свежие продукты растет, смена парадигмы в практике хранения продуктов питания является обязательной. Это требует целостного подхода, объединяющего научную изобретательность, устойчивые методы и коллективную приверженность смягчению воздействия на окружающую среду. Использование инноваций и экологически чистых технологий имеет решающее значение для будущего, в котором скоропортящиеся продукты от фермы до стола можно будет эффективно сохранять, сокращая ненужные потери [4].

Простым и удобным способом сохранения качества пищевой продукции можно отнести обработку продуктов озоном. Озон, высокореактивный газ, обладает сильными антимикробными свойствами, эффективно убивая вредные бактерии и микроорганизмы, которые могут вызвать порчу. Совокупная глобальная база знаний свидетельствует о существенных достижениях в использовании потенциала озона для обработки сельскохозяйственной продукции, тем самым продлевая срок ее хранения [5, 6, 7]. Озоновая обработка отличается выраженной способностью значительно снижать зараженность фруктов и овощей гнилостной и патогенной микрофлорой. В то же время он действует как мощное средство смягчения текущих метаболических процессов — основных виновников порчи, достигая кульминации в многогранном воздействии, подтверждающем его экономическую эффективность [8, 9].

В контексте подготовки овощехранилищ к будущему урожаю озоновые технологии оказываются исключительно универсальными и полезными. Стратегическое применение озона, при котором первоначальная «шоковая доза» тщательно вводится в пустые складские помещения перед погрузкой, служит упреждающей мерой для оптимизации результатов консервации. Практическое применение озонаторов также показывает, что периодическая активация после загрузки повышает эффективность консервации, что делает этот метод адаптируемым как к контейнерным, так и к бортовым способам хранения [10, 11].

Обработка озоном выходит за рамки непосредственного консервирования, устраняя

резкие запахи в хранилищах овощей, тем самым значительно повышая безопасность урожая. Это улучшение заслуживает внимания: оно существенно на 15-20% превосходит традиционные методы хранения [12]. По наблюдениям, озонаторы демонстрируют замечательную способность подавлять распространение гнили при первом использовании. Пораженный клубень подвергается высыханию, что является профилактической мерой против потенциального поражения соседних клубней.

Более того, озон действует как надежный сдерживающий фактор против образования колоний плесени на стенах складских помещений, деревянных ящиках и других упаковочных материалах. Даже в тех случаях, когда эти плесени наносят минимальный вред продукту, их присутствие придает плодам нежелательный специфический запах [13, 14]. Холодильные склады, которые часто страдают от быстрого распространения так называемой синей плесени, находят эффективного антагониста в виде озона. Эта устойчивая плесень процветает даже при относительно низких температурах, примерно 0°C, но ингибирующее воздействие озона на ее рост добавляет еще один уровень значимости к ее роли в революционном изменении традиционных методов хранения продуктов питания [15, 16].

Многогранные преимущества озонных технологий подчеркивают их ключевую роль в изменении ландшафта консервации и хранения продуктов питания, знаменуя сдвиг парадигмы в сторону более эффективных, устойчивых и экономически жизнеспособных методов.

Исследованиями Назировой Р.М. и др. результат биологического воздействия был зафиксирован в ходе лабораторных исследований при использовании озона в концентрации от 6 до 21 мг/м³ [17].

Цель исследований - изучение влияния обработки озоном на сохранность и качество ягод, на примере клубники, в процессе хранения.

Условия, материалы и методы. В лабораторных условиях кафедры механизации, электрификации и автоматизации с-х производства Чувашской ГАУ в период май-июнь 2023 года проводились эксперименты по влиянию озона на сохранность спелой клубники сорта «Черный принц». Экспериментальная установка (рис. 1), используемая в этом исследовании, включает генератор озона, оснащенный автоматическим таймером, что позволяет точно контролировать продолжительность обработки озоном в течение недели.

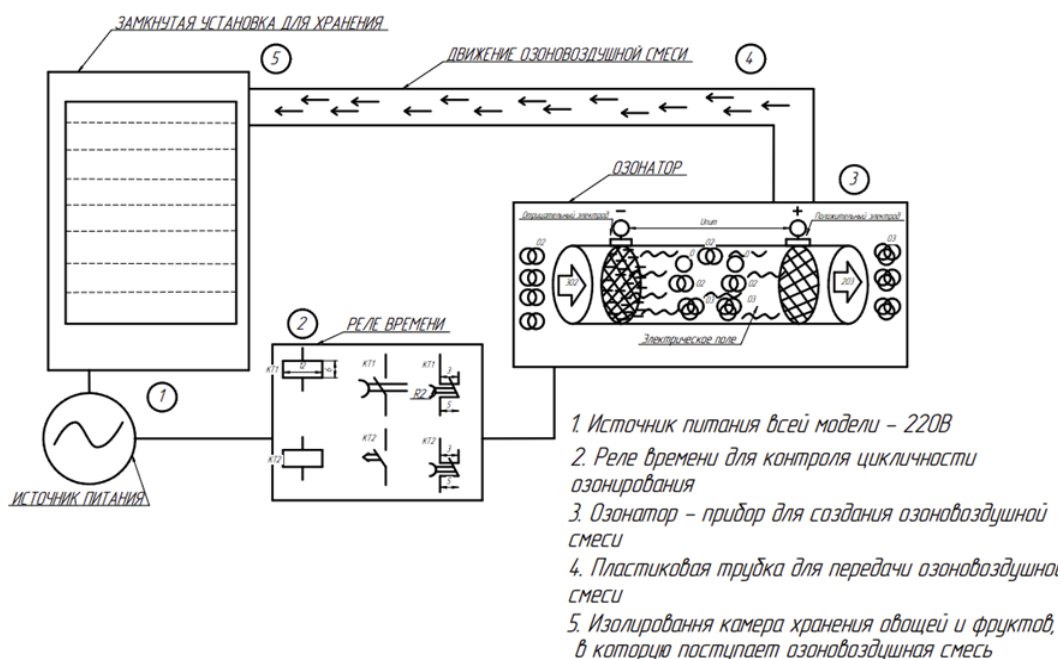


Рис. 1 – Схема экспериментальной установки для озонирования

Генератор озона специально доставляет полученный озон через пластиковую трубку в специальный резервуар для хранения, что обеспечивает оптимальные условия для сохранения фруктов. Емкость для хранения имеет вместимость 24 литра и оснащен датчиком температуры и влажности для своевременного регулирования уровня температуры и влажности.

Основной задачей резервуара для

хранения является создание условий, способствующих долголетию и свежести фруктов. Тщательно контролируя температуру в диапазоне от 1 до 3°C, резервуар для хранения обеспечивает идеальные условия хранения фруктов, предотвращая преждевременное созревание и гниение. Функция контроля влажности в резервуаре для хранения еще больше улучшает процесс хранения, поддерживая оптимальный уровень влажности от 90 до 95%,

который подавляет рост микробов и сводит к минимуму потерю влаги фруктами.

Учитывая важность сохранения качества и безопасности плодов, рекомендуемая частота обработки озоном камеры хранения фруктов составляет 1-2 раза в 1-2 часа в течение экспериментального промежутка времени. Эта частота позволяет регулярно подвергать воздействию озона, эффективно подавляя микробную активность и продлевая срок хранения фруктов. Осуществляя обработку озоном через соответствующие промежутки времени, экспериментальная установка направлена на достижение баланса между достижением микробного контроля и минимизацией потенциального негативного воздействия на характеристики фруктов.

Генератор озона производит озон со скоростью 200-400 мг/час, обеспечивая непрерывную и контролируруемую подачу озона в резервуар для хранения. Эта стабильная подача озона гарантирует, что фрукты постоянно подвергаются воздействию озона в необходимой концентрации.

В эксперименте использовалось реле времени модель XIAOMI Mi Smart Power Plug (с поддержкой Wi-Fi, системы умный дом) для регулирования электрического циклического питания программируемого озонатора. Такая компоновка обеспечивала циклическое поступление озонозооной смеси в камеру

хранения, которая была оборудована датчиками температуры и влажности Aqara Temperature and Humidity Sensor (экосистема Xiaomi) для обеспечения соблюдения заданных норм влажности и температуры.

Реализованная в системе электрическая схема (рис. 2) позволила обеспечить автоматическое питание озонатора Tronkin A530, обеспечив его циклическую работу.

В камеру хранения были помещены 24-литровые термомешки, способные поддерживать контролируемую среду до 12 часов. Датчики влажности и температуры использовались для непрерывного контроля требуемого уровня влажности в камерах хранения. Мониторинг и хранение данных в режиме реального времени были облегчены благодаря внедрению центральной системы контроля—Tuuya ZigBee 3.0 (беспроводной сетевой шлюз для умного дома).

Для достижения необходимого уровня влажности использовали бытовой увлажнитель воздуха CONMI GAL00800 (бытовой прибор, обеспечивающий повышение уровня влажности воздуха в помещении до 20 м², с возможностью непрерывной работы до 13 час.). Лед использовался в тщательно рассчитанных пропорциях для установления и поддержания нужной температуры. Для обеспечения температурной стабильности проводились регулярные замены льда.

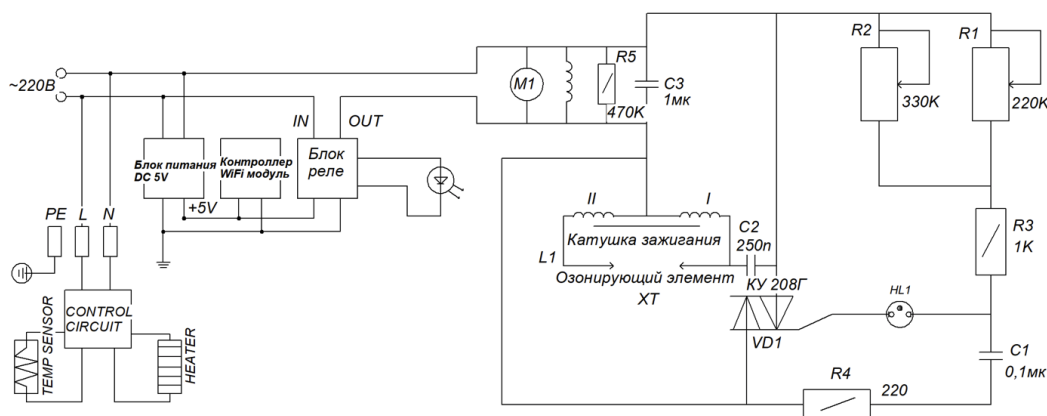


Рис. 2 - Электрическая схема питания озонатора: HL1 - неоновая лампа; VD1 - симистор; M1 - вентилятор с электродвигателем; L1 - индукционная катушка; I – первичная обмотка; II – вторичная обмотка; R1, R2, R3, R4; R5 – резисторы; C1, C2; C3 – конденсаторы

После установления необходимого уровня влажности клубнику помещали в две отдельные камеры хранения. В одной камере поддерживались необходимые температурно-влажностные условия, чтобы максимально увеличить срок годности клубники, а в другой камере проводились дополнительные циклы озонирования.

Бытовой озонатор подавал в камеру хранения озонозооной смесь с частотой 10 мин. в час.

На протяжении всего экспериментального этапа проводилось циклическое озонирование, лед периодически заменялся по мере

необходимости. В случаях, когда влажность падала ниже желаемого уровня, использовался увлажнитель.

В каждой камере хранения помещалось по 8 ягод свежей клубники. Для оценки эффективности озонирования по сравнению с другими методами хранения использовались следующие данные:

-озонирование: средняя степень порчи на 6-е сутки = 0%;

-холодильное хранение: средняя степень порчи на 6-е сутки = 20%;

-модифицированная атмосфера: средняя степень порчи на 6-е сутки = 15%;

-антиоксидантная обработка: средняя степень порчи на 6-е сутки = 10%;

Расчет относительного эффекта озонирования:

- разница с холодильным хранением:
- разница=20%-0%=20%;
- разница с модифицированной атмосферой:
- разница=15%-0%=15%;
- разница с антиоксидантной обработкой:
- разница=10%-0%=10%.

Для проверки статистической значимости разниц использовался t-тест. Стандартное отклонение предполагалось равным 5% для всех групп.

Формула t-теста для двух независимых выборок выглядит следующим образом:

$$t = \frac{\text{Разница средних величин}}{\frac{\sigma^2 \text{ группа 1}}{n \text{ группа 1}} + \frac{\sigma^2 \text{ группа 2}}{n \text{ группа 2}}}$$

где:

разница средних - разница в средней степени порчи между двумя группами;

σ^2 - дисперсия (квадрат стандартного отклонения);

n - количество клубники в каждой группе.

Результаты и обсуждение. При оценке эффективности применения озона необходимо учесть все аспекты, такие как: тип микроорганизмов, температура, влажность воздуха и другие факторы, поскольку они могут влиять на в процессе хранения.

После обработки озоном ягод спелой клубники проводили наблюдение за их состоянием

в течение одной недели. Опытный и контрольный варианты ягод хранились в термоизолированных контейнерах при средней температуре 2...4⁰С и влажности 91...95%.

Анализ экспериментальных результатов показывает значительное различие в сохранении качества между опытным образцом и контрольным вариантом клубники в течение 6 дней хранения (рис. 3):

На протяжении всего наблюдения опытный образец демонстрировал стабильное качество, не изменяясь внешне и сохраняя приятный вкус и аромат, в то время как контрольный вариант постепенно ухудшался. Уже на первые сутки контрольный образец изменил цвет, а на вторые начал выглядеть более спелым. К третьим суткам появились признаки перезрелости и начальной порчи, с повреждением до 5-6% площади ягод. На четвертые сутки контрольный образец показал размягчение, потемнение и явные признаки порчи на четырех ягодах, затрагивающие 12-14% площади. К пятым суткам состояние ухудшилось - ягоды сильно размягчились и уменьшились в объеме, с порчей на 34-36% площади. На шестые сутки контрольный вариант полностью испортился: ягоды стали темными, с признаками гниения и порчей на 68-70% площади, делая их несъедобными.

Таким образом, опытный образец значительно превосходит контрольный вариант по стойкости и качеству хранения, оставаясь практически неизменным на протяжении всего периода наблюдения (табл. 1).

Таблица 1 - Изменение внешнего вида клубники

Продолжительность хранения	Опытный образец	Контрольный вариант
1 сутки	не изменились;	- заметное изменение цвета на несколько тонов;
2 сутки	без существенных изменений;	- внешне выглядят более спелой;
3 сутки	без существенных изменений	- выглядела перезрелой, с локальными участками; - деформации и начальными признаками порчи - в среднем, признаки порчи составляли 5-6% от площади ягоды;
4 сутки	без существенных изменений	- размягчилась; - потемнела на несколько тонов; - четыре ягоды клубники имели явные признаки порчи; - в среднем, признаки порчи составляли 12-14% от площади ягоды;
5 сутки	без существенных изменений	- клубника еще больше размякла и потеряла в объеме; - четыре ягоды клубники из общего объема значительно уменьшились в размерах и имели явные признаки порчи; - в среднем, признаки порчи составляли 34-36% от площади ягоды;
6 сутки	Озонированная клубника сохранила приятный вкус и обрела аромат.	- темные тона; - признаки гниения; - в целом вся клубника стала несъедобной; - в среднем, признаки порчи составляли 68-70% от площади ягоды;

При сравнении различных методов хранения с озонированием, последний демонстрирует высокую эффективность в сохранении качества ягод, удерживая их свежими и вкусовыми характеристиками до 6 дней, что делает его конкурентоспособным и экономически выгодным.

В отличие от холодильного хранения, где происходит быстрое размягчение и потеря влаги, и модифицированной газовой среды, требующей дорогостоящего оборудования, озонирование показало аналогичную стойкость без значительных затрат.

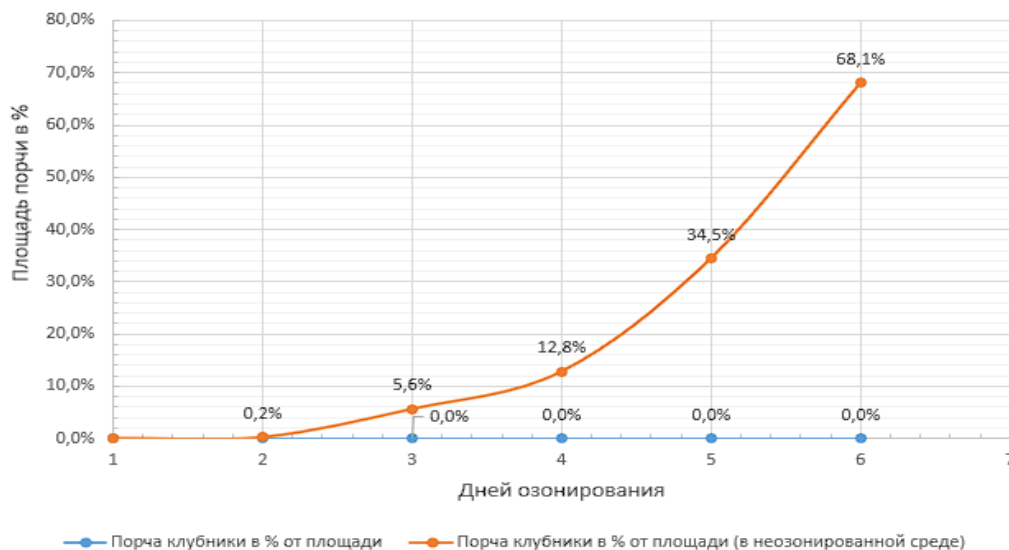


Рис. 3 - Средние показатели порчи клубники в % за 6 дней испытаний

В сравнении с вакуумным хранением, озонирование лучше сохраняет структуру и внешний вид ягод, избегая деформаций, что подтверждает его преимущества перед другими методами. Для наиболее эффективного способа хранения от порчи, помимо техники применения озона, результаты по формуле t-теста будут следующие:

$$t = \frac{10\% - 0\%}{\frac{5^2}{8} + \frac{5^2}{8}} \approx 2.83$$

Что свидетельствует о значительной разнице в эффективности озонирования по сравнению с обычным холодильным хранением.

В ходе эксперимента было исследовано влияние озонирования на сохранность клубники в контролируемых условиях хранения. Две группы ягод содержались в термоизолированных контейнерах при температуре 2-4°C и влажности 91-95%. В одной группе применялось озонирование с циклом 10 минут в час, в другой - стандартные условия без озонирования. Результаты показали, что озонированная клубника сохраняла свежесть и не изменялась внешне на протяжении всего эксперимента, тогда как в контрольной группе признаки порчи и гниения проявились уже на 3-е сутки, а к 6-м суткам площадь пораженных участков достигла 68-70%. Таким образом, озонирование доказало свою эффективность в продлении срока годности клубники, что соответствует данным ранее проведенных

исследований о воздействии озона на снижение микробиологической активности.

Выводы. Применение озоновых технологий при хранении и перевозке скоропортящейся плодовоовощной продукции позволяет снизить ее потери, в вплоть до 99% при хранении по условиям ГОСТ 33953-2016 - Земляника свежая. Технические условия, сохранить её биологическую ценность, а также есть возможность отказаться от обработки продукции токсичными химическими дезинфектантами.

После недельного хранения необработанная клубника еще больше размякла и потеряла в объеме в среднем 20-45%. Большинство ягод клубники из общего объема значительно уменьшились до 48% от изначального объема в размерах и имели явные признаки порчи. После разрезания клубники стало очевидным, что ягоды, хранившиеся в неозонированной среде, потеряли объем, размякли, и примерно половина из них была сильно подвержена порче, что делало их непригодными для употребления в пищу.

Озонированная клубника после 6 сут. не показала никаких изменений, сохранив исходное состояние. Она сохранила свой объем и упругость.

Озонированная клубника сохранила приятный вкус и обрела аромат. Вкусовые ощущения озонированной клубники остались сохранными, тогда как контрольный вариант клубники проявила неприятный вкус, что явно указывало на ее непригодность для употребления.

Литература

1. Бахчевников О. Н., Брагинцев А. В. Применение озона для обеззараживания кормового сырья (обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 2(26). С. 41-61. DOI 10.33952/2542-0720-2021-2-26-41-61.
2. Воробьев В.Ф., Лисина А.В. Роль озона в контроле развития физиологических расстройств и грибных болезней в плодах груши при хранении. Плодоводство и ягодоводство России. 2019. - №59. С. 176-180. DOI 10.31676/2073-4948-2019-59-176-180/
3. Piechowiak T, Skóra B, Balawejder M. Ozonation process causes changes in PARP-1 expression and the metabolism of NADPH in strawberry fruit during storage. J Biotechnol. 2022 Sep 20;357:84-91. doi: 10.1016/j.jbiotec.2022.08.012. Epub 2022 Aug 17. PMID: 35985517.
4. Баскаков И. В. Влияние озонной обработки на вредителей зерна // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12, № 3(62). С. 41-46. DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.3.41.
5. Шаравьев П. В., Г. В. Зуева Г. В., Неверова О. П. Инновационные технологии озонирования патогенов картофеля // Аграрный вестник Урала. 2014. № 3(121). С. 63-66.
6. Попов П. А. Технология применения озона в птицеводческих хозяйствах для обработки яиц // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2011. № 1(5). С. 48-53.
7. Мануйленко А. Н., Вендин С.В. Конструкция электрического озонатора воздуха для животноводческих помещений // Агроинженерия. 2021. № 3(103). С. 74-79. DOI 10.26897/2687-1149-2021-3-74-79.
8. Trends in EU Consumers' Attitude towards Fresh-Cut Fruit and Vegetables / Baselice, A.; Colantuoni, F.; Lass, D.A.; Nardone, G.; Stasi, // Food Qual. Prefer. 2017, 59, 8796. [Google Scholar] [CrossRef]
9. Advances in Postharvest Technologies to Extend the Storage Life of Minimally Processed Fruits and Vegetables / Li, A.; Yeoh, W.K.; Forney, C.; Siddiqui, M.W. // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2018, 58, 26322649. [Google Scholar] [CrossRef]
10. Якияева М. А. Влияние озонной обработки на физико-химические и микробиологические показатели сахарной свеклы // Пищевая промышленность. 2021. № 7. С. 24-26. DOI 10.52653/PPI.2021.7.7.006.
11. Некоторые аспекты использования озона и особенности применения озонаторов, повышающие сохранность собранного урожая в овощехранилищах. Теоретические и экспериментальные исследования / В. В. Белов, В. С. Павлов, Е. Л. Белов [и др.]. Волгоград: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "Научное обозрение", 2022. 84 с. ISBN 978-5-00186-059-4.
12. Toti, M.; Carboni, C.; Botondi, R. Postharvest Gaseous Ozone Treatment Enhances Quality Parameters and Delays Softening in Cantaloupe Melon during Storage at 6 °C. J. Sci. Food Agric. 2018, 98, 487494. [Google Scholar] [CrossRef]
13. Fresh-Cut Fruit and Vegetables: Emerging Eco-friendly Techniques for Sanitation and Preserving Safety / Artés-Hernández, F.; Martínez-Hernández, G.B.; Aguayo, E.; Gómez, P.A.; Artés, F. // In Postharvest Handling; Kahramanoglu, I., Ed.; IntechOpen: London, UK, 2017. [Google Scholar]
14. Botondi, R.; Moschetti, R.; Massantini, R. A Comparative Study on the Effectiveness of Ozonated Water and Peracetic Acid in the Storability of Packaged Fresh-Cut Melon. J. Food Sci. Technol. 2016, 53, 23522360. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed] [Green Version]
15. Antifungal Coatings on Fresh Strawberries (Fragaria × Ananassa) to Control Mold Growth During Cold Storage / Park, S.-I.; Stan, S.D.; Daeschel, M.A.; Zhao, Y. J. Food Sci. 2006, 70, M202–M207. [Google Scholar] [CrossRef]
16. Barone, M.; Grasso, C.; Botondi, R. A Review into the Effectiveness of Ozone Technology for Improving the Safety and Preserving the Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables. Foods 2021, 10(4), 748; <https://doi.org/10.3390/foods10040748>. Department for Innovation in Biological, Agro-Food and Forest Systems, University of Tuscia, 01100 Viterbo, Italy. Author to whom correspondence should be addressed. Received: 4 March 2021 / Revised: 22 March 2021 / Accepted: 25 March 2021 / Published: 1 April 2021. (This article belongs to the Special Issue Safety, Quality and Processing of Postharvest Fresh Fruits and Vegetables)
17. Назирова Р.М., Курбанова У.С., Усманов Н.Б. Особенности обработки озоном некоторых видов плодов и овощей для их долгосрочного хранения // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2020. № 6 (72). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/9424> (дата обращения: 16.09.2024).

Сведения об авторах:

Белов Евгений Леонидович – кандидат технических наук, доцент кафедры механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства, e-mail: Belovevg2008@yandex.ru
 Долгов Никита Романович – аспирант кафедры механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства, e-mail: yanki.xc@gmail.com
 Чувашский государственный аграрный университет, Чебоксары, Россия
 Хафизов Камилль Абдулхакович – доктор технических наук, заведующий кафедрой тракторов, автомобилей и безопасность технологических процессов, e-mail: fts-kgau@mail.ru
 Галиев Ильгиз Гакифович - доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации и ремонта машин, e-mail: drGali@mail.ru
 Ахметзянов Ришат Ринатович - кандидат технических наук, доцент кафедры общинженерных дисциплин, e-mail: rishat83@mail.ru
 Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ELECTROZONING ON THE SHELF LIFE OF RIPE STRAWBERRIES

E. L. Belov, N. R. Dolgov, K. A. Khafizov, I. G. Galiev, R. R. Akhmetzyanov

Abstract. Preserving the freshness of fruits and berries is of great importance not only for their taste, but also for preserving their nutritional properties. Ozonation is one of the highly effective methods for destroying bacterial microflora and preserving food for a long time. Ozone is a strong disinfecting gas with a powerful disinfecting effect; biochemical processes are greatly reduced in ozonated products. Studies to study the effect of ozonation on the preservation of freshness and appearance of berries were conducted on the example of strawberries of the "Black Prince" variety. Experiments on electrozoning of ripe strawberries were carried out in laboratory conditions in the Chuvash State Agrarian

University. For this purpose, an experimental installation was developed and implemented to study the effects of ozonation. In a series of one-factor experiments, the preservation, appearance of berries and the amount of microflora after 6 days of storage were determined. Ozonation of berries was carried out in special containers at an ozone concentration of 6 mg / m³, lasting 2 hours - 2 times a day. The appearance and taste of strawberries treated with ozonation for six days has not changed; the number of microorganisms on the surface of berries during storage for up to six days corresponds to the standards of GOST 29187-91. A visual inspection of the berries in the control sample on the sixth day of storage showed that 90% of the berries were affected by mold fungi. Unprocessed berries lost their shape, softened, putrefactive microflora appeared; the surface area affected by mold fungi reached more than 90%. Thus, ozonation has shown high efficiency in preserving the freshness, appearance and quality of strawberries during storage. Ozone treatment significantly reduces the development of pathogenic microflora and prevents spoilage of berries. This method can be recommended to extend the shelf life of fruits and berries in the food industry.

Keywords: ozone, ozonation, strawberries, shelf life.

References

1. Bakhchevnikov ON, Braginets AV. [Use of ozone for disinfection of feed raw materials (review)]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki*. 2021; 2(26). 41-61 p. – DOI 10.33952/2542-0720-2021-2-26-41-61.
2. Vorobev VF, Lisina AV. [The role of ozone in controlling the development of physiological disorders and fungal diseases in pear fruits during storage]. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*. 2019; 59. 176-180 p. – DOI 10.31676/2073-4948-2019-59-176-180/
3. Piechowiak T, Skóra B, Balawejder M. Ozonation process causes changes in PARP-1 expression and the metabolism of NADPH in strawberry fruit during storage. *J Biotechnol*. 2022; Sep 20; 357:84-91. doi: 10.1016/j.jbiotec.2022.08.012. Epub 2022 Aug 17. PMID: 35985517.
4. Baskakov IV. [Effect of ozone treatment on grain pests]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019; Vol.12. 3(62). 41-46 p. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.3.41.
5. Sharavev PV, Zueva GV, Neverova OP. [Innovative technologies for ozonation of potato pathogens]. *Agrarnyy vestnik Urala*. 2014; 3(121). 63-66 p.
6. Popov PA. [Technology of ozone application in poultry farms for egg processing]. *Rossiyskiy zhurnal Problemy veterinarnoy sanitarii, gigieny i ekologii*. 2011; 1(5). 48-53 p.
7. Manuilenko AN, Vendin SV. [Design of an electric air ozonizer for livestock buildings]. *Agroinzheneriya*. 2021; 3 (103). 74-79 p. – DOI 10.26897/2687-1149-2021-3-74-79.
8. Baselice A, Colantuoni F, Lass DA, Nardone G, Stasi. Trends in EU consumers' attitude towards fresh-cut fruit and vegetables. *Food Qual. Prefer*. 2017; 59. 87-96 p. [Google Scholar] [CrossRef]
9. Li A, Yeoh WK, Forney C, Siddiqui MW. Advances in postharvest technologies to extend the storage life of minimally processed fruits and vegetables. *Crit.Rev.Food Sci. Nutr*. 2018; 58. 2632-2649 p. [Google Scholar] [CrossRef]
10. Yakiyaeva MA. [Effect of ozone treatment on the physicochemical and microbiological parameters of sugar beet]. *Pishchевaya promyshlennost*. 2021; 7. 24-26 p. – DOI 10.52653/PPI.2021.7.7.006.
11. Belov VV, Pavlov VS, Belov EL. [Some aspects of ozone use and features of ozonizer application that increase the safety of harvested crops in vegetable stores]. *Teoreticheskie i eksperimentalnye issledovaniya. Volgograd: Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennostyu "Izdatelstvo "Nauchnoe obozrenie"*. 2022; 84 p. – ISBN 978-5-00186-059-4.
12. Toti M, Carboni C, Botondi R. Postharvest gaseous ozone treatment enhances quality parameters and delays softening in cantaloupe melon during storage at 6 °C. *J. Sci. Food Agric*. 2018; 98. 487-494 p. [Google Scholar] [CrossRef]
13. Artés-Hernández F, Martínez-Hernández GB, Aguayo E, Gómez PA, Artés F. Fresh-cut fruit and vegetables: emerging eco-friendly techniques for sanitation and preserving safety. In *Postharvest Handling*; Kahramanoglu, I., Ed.; IntechOpen: London, UK, 2017. [Google Scholar]
14. Botondi R, Moschetti R, Massantini RA. Comparative study on the effectiveness of ozonated water and peracetic acid in the storability of packaged fresh-cut melon. *J. Food Sci. Technol*. 2016; 53. 2352-2360 p. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed] [Green Version]
15. Park SI, Stan SD, Daeschel MA, Zhao Y. Antifungal coatings on fresh strawberries (*Fragaria* × *Ananassa*) to control mold growth during cold storage. *J. Food Sci*. 2006; 70. M202-M207 p. [Google Scholar] [CrossRef]
16. Barone M, Grasso C, Botondi RA. Review into the effectiveness of ozone technology for improving the safety and preserving the quality of fresh-cut fruits and vegetables. *Foods* 2021; 10(4). 748; <https://doi.org/10.3390/foods10040748>. Department for Innovation in Biological, Agro-Food and Forest Systems, University of Tuscia, 01100 Viterbo, Italy. Author to whom correspondence should be addressed. Received: 4 March 2021. Revised: 22 March 2021. Accepted: 25 March 2021. Published: 1 April 2021. (This article belongs to the Special Issue Safety, Quality and Processing of Postharvest Fresh Fruits and Vegetables)
17. Nazirova RM, Kurbanova US, Usmanov NB. Features of ozone treatment of some types of fruits and vegetables for their long-term storage. [Internet]. *Universum: khimiya i biologiya: elektron. nauchn. zhurn*. 2020; 6 (72). [cited 2024, September 16]. Available from: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/9424>.

Authors:

Belov Evgeny Leonidovich – Ph.D. of Technical sciences, Associate Professor of the Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production, e-mail: Belovevg2008@yandex.ru
 Dolgov Nikita Romanovich - postgraduate student at the Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production, e-mail: yanki.xc@gmail.com
 Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia
 Khafizov Kamil Abdulkhakovich – Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Tractors, Automobiles and Safety of Technological Processes, e-mail: fts-kgau@mail.ru
 Galiev Ilgiz Gakifovich - Doctor of Technical Sciences, Professor of Machine Operation and Repair Department, e-mail: drGali@mail.ru
 Akhmetzyanov Rishat Rinatovich - Ph.D. of Technical sciences, Associate Professor of the Department of General Engineering Disciplines, e-mail: rishat83@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.