

Стаценко А.А.

ученик

МБОУ СОШ №37

г. Ставрополь

Стаценко Е.Н., к.т.н., доцент,

доцент,

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

г. Ставрополь

ЭКОЛОГИЧНОЕ СЪЕДОБНОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И ЭФИРНОГО МАСЛА КОРИЦЫ ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ СРОКОВ ХРАНЕНИЯ СВЕЖИХ ЯБЛОК

Аннотация: в статье представлены результаты разработки и экспериментальной оценки эффективности съедобного биоразлагаемого покрытия на основе хитозана, эфирного масла корицы, лимонной кислоты и глицерина для увеличения сроков хранения свежих яблок сорта «Гала» при комнатной температуре. Исследовано влияние трёх концентраций эфирного масла корицы (0,3; 0,6 и 1,2 мл на 300 мл хитозанового раствора) на динамику потери массы и микробиологические показатели плодов в течение 15 суток хранения. Установлено, что нанесение хитозанового покрытия снижает усушку яблок на 20–40 % по сравнению с контрольными образцами и существенно ингибирует развитие плесневых грибов, дрожжей и бактерий группы кишечных палочек. Наилучшие результаты по микробиологической чистоте и сохранению массы продемонстрированы образцами с максимальной концентрацией эфирного масла корицы (1,2 мл). Предложенная технология является

экологичной, экономически доступной и перспективной для внедрения в практику послеуборочной обработки плодоовощной продукции.

Ключевые слова: хитозан, эфирное масло корицы, съедобное покрытие, хранение яблок, микробиологическая безопасность, биоразлагаемая плёнка, послеуборочная обработка, усушка плодов.

Abstract: This article presents the results of the development and experimental evaluation of the effectiveness of an edible biodegradable coating based on chitosan, cinnamon essential oil, citric acid, and glycerin for extending the shelf life of fresh Gala apples at room temperature. The effect of three concentrations of cinnamon essential oil (0.3, 0.6, and 1.2 ml per 300 ml of chitosan solution) on the weight loss dynamics and microbiological parameters of fruit over 15 days of storage was studied. It was found that the chitosan coating reduced apple shrinkage by 20–40% compared to control samples and significantly inhibited the growth of mold fungi, yeast, and coliform bacteria. The best results in terms of microbiological purity and weight retention were demonstrated by samples with the highest concentration of cinnamon essential oil (1.2 ml). The proposed technology is environmentally friendly, affordable, and promising for implementation in post-harvest processing of fruit and vegetable products.

Keywords: chitosan, cinnamon essential oil, edible coating, apple storage, microbiological safety, biodegradable film, post-harvest processing, fruit shrinkage.

Проблема эффективного хранения плодовой продукции в Российской Федерации носит комплексный характер. По имеющимся оценкам, потери плодов на этапах хранения и транспортировки достигают 35-40 %. При этом функционирует лишь около 70 % от необходимого количества хранилищ, из которых только 30 % оснащены системами

искусственного охлаждения. Недостаточно используются газовые методы хранения, пункты предварительного охлаждения и холодильные установки в зонах производства плодов [7]. К основным физиологическим заболеваниям, возникающим при хранении, относятся загар, побурение сердцевины, подкожная пятнистость и другие. Значительный ущерб наносят микробиологические заболевания, доля которых, однако, может быть снижена до 3–5 % при применении современных технологий. По статистическим данным, 1 % общих потерь плодов составляет около 50 млн руб. при объеме производства 100 тыс. т, что обуславливает необходимость совершенствования системы управления сохранностью плодов на всех этапах их жизненного цикла [7].

В условиях роста потребительского спроса на экологичные и безопасные технологии всё большее внимание исследователей привлекают съедобные биоразлагаемые покрытия, которые не только защищают продукт от внешних воздействий, но и не наносят вреда окружающей среде при утилизации и здоровью потребителя при случайном проглатывании. Одним из наиболее перспективных решений является комбинация хитозана – природного полимера с выраженными антимикробными свойствами – и эфирного масла корицы, обладающего мощным фунгицидным и бактерицидным действием.

Цель исследования – разработка и экспериментальная оценка эффективности рецептуры экологичного съедобного покрытия на основе природных компонентов (хитозан, эфирное масло корицы, лимонная кислота, глицерин) для увеличения сроков хранения свежих яблок при комнатной температуре и снижения бактериального и грибкового воздействия на их поверхность.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- изучить свойства компонентов покрытия на основании анализа научных источников;
- проанализировать существующие разработки в области съедобных биопокрытий;
- разработать рецептуру покрытия и провести экспериментальную оценку её эффективности;
- сравнить результаты исследований образцов с различной концентрацией эфирного масла корицы;
- исследовать микробиологические показатели контрольных и опытных образцов;
- сформулировать выводы на основе полученных результатов.

Свежие фрукты, включая яблоки, являются важным компонентом здорового питания, однако их длительное хранение сопряжено с рядом проблем. Одной из основных причин порчи плодов является микробиологическая загрязнённость поверхности, вызванная фитопатогенными грибами и бактериями. Данные микроорганизмы приводят к гниению, потере массы, ухудшению товарного вида и снижению пищевой ценности. Особенно остро эта проблема проявляется при хранении яблок в условиях комнатной температуры, когда отсутствуют возможности холодильной обработки.

Традиционные методы консервирования, включающие использование химических дезинфектантов (сернистый ангидрид, бромистый метил и др.), хотя и обеспечивают достаточную эффективность, вызывают обоснованную озабоченность в связи с токсичностью и накоплением остаточных количеств в продуктах питания. Это делает актуальным поиск экологически безопасных, съедобных и биоразлагаемых альтернатив, способных продлить срок хранения фруктов без негативного влияния на здоровье потребителей.

Одним из перспективных направлений является разработка съедобных покрытий на основе природных биополимеров, которые образуют защитную плёнку на поверхности плода, замедляя газообмен, предотвращая усушку и подавляя рост микроорганизмов. В качестве основы таких покрытий всё чаще используются хитозан и его комбинации с эфирными маслами, органическими кислотами и пластификаторами.

Хитозан – природный линейный полисахарид, содержащий остатки D-глюкозамина и N-ацетил-D-глюкозамина, получаемый путём дезацетилирования хитина. В последние 30 лет хитозан вызывает значительный интерес у исследователей и производителей пищевой промышленности. Потребители всё больше обращают внимание на продукты питания, содержащие полезные ингредиенты: витамины, минеральные вещества, антиоксиданты и пищевые волокна, к которым относят клетчатку, крахмал, пектин, камедь, инулин, каррагинаны, альгинаты и хитозан [4]. Хитозан обладает выраженными антибактериальными и антиоксидантными свойствами, биоразлагаем и безопасен для организма человека [6].

Механизм антимикробной активности хитозана до конца не выяснен, однако предложено несколько гипотез. Наиболее вероятной является изменение проницаемости клеточных мембран микроорганизмов вследствие взаимодействия между положительно заряженными аминогруппами хитозана и отрицательно заряженными компонентами микробных мембран. Это взаимодействие приводит к утечке белковых и других внутриклеточных компонентов. Среди других механизмов рассматриваются взаимодействие продуктов диффузного гидролиза хитозана с микробной ДНК, ингибирование синтеза мРНК и белка, а также хелатирование металлов, необходимых для жизнедеятельности микроорганизмов [3].

Противогрибная активность хитозана обеспечивает возрастающий интерес к данному биополимеру в агрохимической и пищевой отраслях. В последние десятилетия многие научные группы исследовали потенциал применения хитозана, его производных и композитов в качестве фунгицидов. Проанализировано влияние основных физико-химических характеристик хитозана на проявляемую активность относительно экономически важных грибных патогенов, поражающих растения [5].

Эфирное масло корицы содержит активные компоненты, в частности эвгенол и коричный альдегид, обладающие выраженным антибактериальным и фунгицидным действием. Согласно исследованию, при нанесении микроэмульсии эфирного масла корицы в концентрациях 0,025; 0,05 и 0,1 % на свежие нарезанные огурцы был зафиксирован явный антимикробный эффект, выразившийся в снижении общего количества жизнеспособных клеток [1].

Лимонная кислота выполняет функцию натурального антиоксиданта, предотвращающего окисление продуктов и развитие плесневых грибов. Глицерин пищевой выступает в качестве пластификатора, улучшающего эластичность и механическую прочность формируемой плёнки.

В работе, опубликованной в журнале Food Hydrocolloids (2020), исследовано нанокапсулирование экстракта виноградных и яблочных выжимок с помощью хитозана в сочетании с DPPH, галловой и аскорбиновой кислотами. Эффективность инкапсуляции составила около 95 %, а хитозановые нанокапсулы обеспечивали антиоксидантную и антибактериальную среду для содержащихся полифенолов [2].

Применение хитозана не ограничивается фруктово-овощной продукцией. В мясной промышленности хитозан используется для создания биопокровов фаршевых изделий и обработки колбасных оболочек благодаря антимикробным, барьерным и бактериостатическим

свойствам [4]. В хлебопекарной отрасли хитозановое покрытие замедляет ретроградацию крахмала и ингибирует рост микроорганизмов. Показано, что багет, покрытый 1 %-м раствором хитозана, демонстрирует меньшую потерю веса, твёрдость и ретроградацию по сравнению с контролем при хранении в течение 36 ч при 25°C [3].

В 2024 г. российскими учёными (СПбГУ) было разработано покрытие на основе хитозана и желатина для увеличения сроков хранения свежих фруктов, однако детальные научные публикации по данной разработке на момент проведения настоящего исследования отсутствовали.

Таким образом, анализ литературных данных свидетельствует о том, что хитозан является оптимальной основой для съедобного покрытия благодаря биоразлагаемости, безопасности, барьерным и защитным свойствам. Эфирное масло корицы выступает мощным природным антисептиком, усиливающим действие хитозана. Комбинация данных компонентов обеспечивает комплексную защиту плодов от физических и микробиологических процессов порчи.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования служили яблоки сорта «Гала» – наиболее распространённого в Ставропольском крае. Эксперимент проводился в лабораторных условиях при комнатной температуре (22 ± 2 °C) в течение 15 суток.

Подготовка образцов. Предварительно с поверхности яблок были взяты мазки для определения начальной микробной обсеменённости. Исследуемые пробы высевали на экспресс-тесты для определения следующих показателей: КМАФАнМ (количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов), БГКП (бактерии группы кишечных палочек), плесневые грибы и дрожжи, *Salmonella* sp. После

посева подложки подвергали культивированию при температуре 37 ± 1 °C в течение 24 ч.

Для основного эксперимента были подготовлены 4 группы по 5 яблочек каждая: контрольная группа (без покрытия) и три опытные группы с различной концентрацией эфирного масла корицы в покрытии.

Приготовление раствора покрытия. В 900 мл дистиллированной воды растворяли 6,75 г лимонной кислоты до получения слабокислого раствора с pH 4,0. Кислота полностью растворялась при перемешивании, создавая оптимальную среду для растворения хитозана, устойчивого в кислой среде (pH 3,0–6,5). В раствор вносили 13,5 г низкомолекулярного хитозана и выдерживали при умеренном перемешивании в течение 5 ч до полного набухания и растворения полимера. Для увеличения пластичности формируемой биоплёнки добавляли 2,7 г пищевого глицерина, выполняющего функцию пластификатора.

Полученный раствор нагревали на водяной бане до 40 °C и разделяли на три ёмкости по 300 мл. Из каждой ёмкости отбирали по 30 мл раствора в качестве водной основы для приготовления эмульсии. В отдельные порции вносили эфирное масло корицы: 9 капель ($\approx 0,3$ мл) – низкая концентрация (образец 1); 18 капель ($\approx 0,6$ мл) – средняя концентрация (образец 2); 36 капель ($\approx 1,2$ мл) – высокая концентрация (образец 3). Каждую смесь тщательно перемешивали и возвращали в основные ёмкости при постоянном перемешивании. Температура каждого образца поддерживалась на уровне $40 \pm 0,7$ °C в течение 10 мин.

Нарезанные яблоки погружали в приготовленный раствор на 2 мин при постоянном перемешивании, после чего размещали на решётке и выдерживали при комнатной температуре в течение 15 суток.

Методы контроля. Каждые 3 суток проводили измерение массы образцов на лабораторных аналитических весах с точностью до третьего

знака после запятой. По истечении 15 суток выполняли повторное микробиологическое исследование всех образцов.

Результаты исследования и их обсуждения

Микробиологическая характеристика исходного сырья. Результаты первичного микробиологического исследования поверхности яблок показали умеренный уровень КМАФАнМ – около $1,5 \times 10^3$ КОЕ/г, что соответствует допустимым нормам для свежих плодов. БГКП, *Salmonella* sp., плесневые грибы и дрожжи в исходных образцах обнаружены не были.

В ходе эксперимента была исследована динамика потери массы. На основании данных, полученных при взвешивании образцов каждые 3 суток, построена зависимость потери массы яблок от продолжительности хранения (рис. 1).

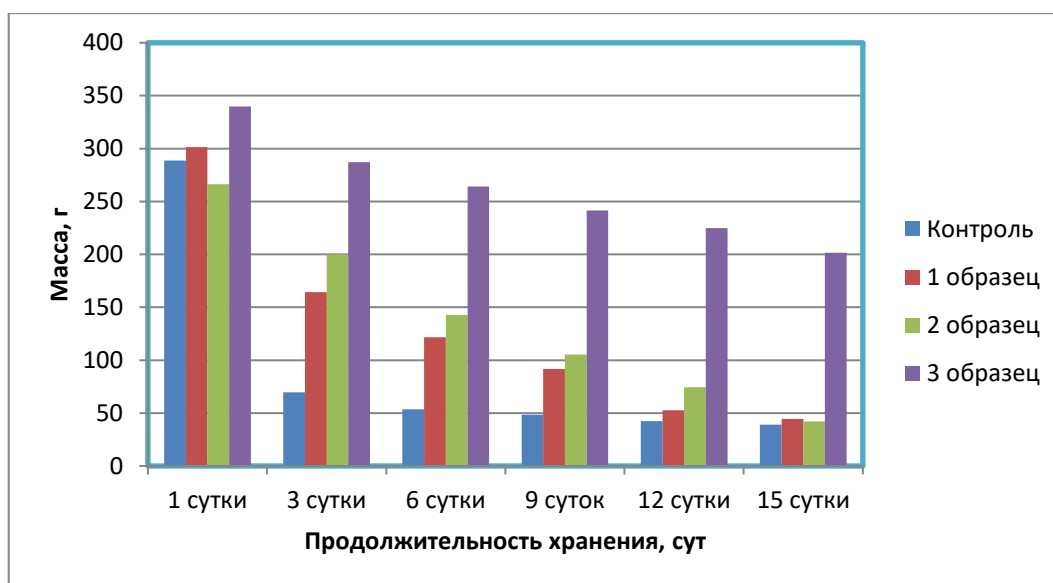


Рисунок 1 – График изменения массы образцов от продолжительности выдержки

Установлено, что контрольные образцы (без покрытия) демонстрировали наиболее интенсивную потерю влаги на протяжении всего периода наблюдения. Образцы, обработанные покрытием с максимальной концентрацией эфирного масла корицы (1,2 мл),

характеризовались наименьшей усушкой. Разница в потере массы между контрольной группой и образцом 3 к 15-м суткам составила порядка 20-40 %, что свидетельствует об эффективном барьерном действии хитозановой плёнки, замедляющей испарение влаги с поверхности плодов.

Средняя концентрация масла (0,6 мл) обеспечивала промежуточный результат, а низкая концентрация (0,3 мл) – незначительное преимущество перед контролем. Таким образом, выявлена дозозависимая эффективность эфирного масла корицы в составе хитозанового покрытия.

По истечении 15 суток проведены повторные микробиологические исследования. В контрольном образце обнаружены плесневые грибы, дрожжи, БГКП, а показатель КМАФАнМ значительно превысил нормативные значения для свежей плодовой продукции. В экспериментальных образцах выявлены лишь единичные колонии микроорганизмов. Наилучшие показатели микробиологической чистоты зафиксированы у образца 3 – с максимальной концентрацией эфирного масла корицы (1,2 мл), где рост плесневых грибов и дрожжей практически полностью подавлен.

Полученные результаты согласуются с литературными данными о механизмах антимикробного действия хитозана и эфирного масла корицы. Хитозан, взаимодействуя с отрицательно заряженными мембранами микробных клеток, нарушает их проницаемость и вызывает гибель микроорганизмов [3, 6]. Эвгенол и коричный альдегид, содержащиеся в масле корицы, дополнительно ингибируют ферментные системы патогенов [1]. Синергетическое действие двух компонентов обеспечивает более выраженный антимикробный эффект по сравнению с каждым из них в отдельности.

Предложенная технология нанесения хитозанового покрытия обладает рядом преимуществ для предприятий, занимающихся переработкой и хранением плодоовощной продукции:

- универсальность – покрытие может наноситься как погружным методом, так и распылением, что позволяет адаптировать технологию к различным производственным линиям;

- экологичность – все компоненты покрытия биоразлагаемы, что снижает нагрузку на окружающую среду по сравнению с синтетическими консервантами;

- повышение качества – продление сроков годности при сохранении товарного вида продукции;

- безопасность – хитозан нетоксичен, неаллергенен и разрешён к применению в пищевой промышленности.

Заключение

1. Хитозановые покрытия существенно увеличивают лёжку яблок за счёт формирования полупроницаемой плёнки, регулирующей газообмен и замедляющей процессы дыхания и старения плодов.

2. Обработка хитозановым покрытием снижает усушку яблок на 20–40 % по сравнению с необработанными образцами, что обусловлено барьерными свойствами плёнки в отношении испарения влаги.

3. Хитозан в сочетании с эфирным маслом корицы проявляет выраженные бактерио- и фунгистатические свойства, подавляя развитие плесневых грибов, дрожжей и БГКП, что подтверждено микробиологическими исследованиями.

4. Покрытие стимулирует активность антиоксидантных ферментов, способствуя снижению окислительного стресса и перекисного окисления липидов, что улучшает сохранение качества плодов.

5. Хитозан является биоразлагаемым, нетоксичным и неаллергенным полимером, что делает разработанное покрытие безопасным для потребителя и окружающей среды.

6. Оптимальной концентрацией эфирного масла корицы в составе хитозанового покрытия является 1,2 мл на 300 мл раствора, обеспечивающая максимальный антимикробный эффект и минимальную потерю массы плодов.

7. Разработанная технология перспективна для внедрения в практику послеуборочной обработки плодоовощной продукции на предприятиях Ставропольского края и других регионов Российской Федерации.

Использованные источники

1. Antimicrobial efficacy of cinnamon essential oil microemulsion in vitro and on fresh-cut cucumbers. Xiaohui Sun, Yifei Wang, Pan Li, Lingjie Kong, Zanhui Gu, Anwar Ali, Joanna Trafiatek, Shoukui He. – 2025. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429225016451>

2. Nano-encapsulation of grape and apple pomace phenolic extract in chitosan and soy protein via nanoemulsification. Gaber Hashem Gaber Ahmed, [Alfonso Fernández-González](#), [Marta Elena Díaz García](#). – 2020. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X19311063>

3. Применение хитозана в пищевой и других промышленности. Сулейманова Л.Р., Наставшева А.В., Махмудова А.Р., Габбасова И.И., Решетник О.А. – 2020.

4. Применение хитозана в мясной индустрии. Е.А. Петрова, О.А. Легонькова. – 2012. <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-hitozana-v-myasnoy-industrii/viewer>

5. Хитин/хитозан и его производные: фундаментальные и прикладные аспекты. В. П. Варламов, А. В. Ильин, Б. Ц. Шагдарова, А. П. Луньков, И. С. Мысякина. Институт биоинженерии, Федеральный

исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук, Москва, Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского, Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук, Москва. – 2020.

6. Хитин/хитозан: биоресурсы, практическое использование, технологии производства. В.В. Перелыгин, Т.Н. Некрасова, М.В. Жариков, А.О. Вернер, И.В. Змитрович. Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия . – 2024.

7. Хранение плодово-ягодной продукции – необходимый аспект в продовольственной безопасности страны/ Слинько О.В., старший научный сотрудник Кондратьева О.В. кандидат экономических наук Федоров А.Д., кандидат технических наук ФГБНУ «Росинформагротех»//АгроФорум. – 2022. <https://cyberleninka.ru/article/n/hranenie-plodovo-yagodnoy-produktsii-neobhodimyy-aspekt-v-prodovolstvennoy-bezopasnosti-strany>