

**ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС ДОСТИЖЕНИЙ ТАЛАНТЛИВОЙ
МОЛОДЁЖИ**

«НАЦИОНАЛЬНОЕ ДОСТОЯНИЕ РОССИИ»

Направление: Биология

Тема: Влияние холодной плазмы на созревание плодов томатов

Соискатель: Балданов Алдар Баирович

Научный руководитель: Маланова Светлана Доржиевна

**Место выполнения работы: МАОУ «Средняя общеобразовательная школа № 25,
Республика Бурятия, г. Улан-Удэ**

ВВЕДЕНИЕ	2
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	3
1.1. Пищевая ценность и биологические особенности томата	3
1.2. Традиционные методы и технологии хранения томатов	3
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	5
2.1. Объект исследования и подготовка образцов	5
2.2. Описание экспериментальной установки для генерации холодной плазмы	5
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	6
3.1. Влияние силы тока при кратковременной плазменной обработке на скорость созревания томатов	6
3.2. Влияние времени экспозиции плазменной обработки на динамику изменения цвета плодов	7
ВЫВОДЫ	8
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	9

ВВЕДЕНИЕ

Томат (*Solanum lycopersicum* Mill.) – широко культивируемая овощная культура во всем мире. Он занимает третье место по объёму выращивания среди овощных культур после картофеля и батата, а как сырьё для переработки — первое место среди всех овощей. Помидоры популярны благодаря своему уникальному вкусу, яркому цвету и высокому содержанию антиоксидантов, таких как ликопин, каротиноиды и хлорофилл. Однако после сбора урожая содержание хлорофилла и физические свойства плодов ухудшаются из-за высокой влажности и дыхания, что приводит к покраснению, размягчению и, как следствие, к экономическим потерям. Хотя традиционные химические консерванты могут продлевать срок хранения, они неэффективны для предотвращения покраснения, а их остатки представляют серьёзную проблему для безопасности пищевых продуктов.

Актуальность темы

Томаты содержат большое количество биологически ценных веществ, и потребители отдают предпочтение их свежему виду. Однако томаты отличаются высокой скоростью дыхания и испарения влаги во время хранения и созревания. Это приводит к снижению содержания питательных веществ, ухудшению качества, перезреванию и быстрому старению, что снижает товарный вид продукции. Традиционные способы обработки перед хранением не всегда достаточно эффективны, так как сложно обеспечить рекомендуемые пониженную температуру и необходимую влажность. Поэтому для увеличения продолжительности хранения томатов при сохранении их качества и безопасности необходим поиск новых современных методов обработки. Перспективными методами, обеспечивающими высокие физико-химические, органолептические и микробиологические показатели, являются: обработка ингибиторами биосинтеза этилена и его поглотителями, озонирование, модифицированная газовая атмосфера, обработка электрическим полем и ультразвуком, применение биопрепаратов, активной упаковки и антимикробных плёнообразующих покрытий. Наряду с данными методами, согласно современным исследованиям, на сроки созревания томатов влияет холодная плазма.

Цель работы: Исследование влияния холодной плазмы на сроки созревания томатов.

Задачи работы:

1. Анализ существующих традиционных способов обработки томатов перед хранением.
2. Проведение экспериментальных исследований с использованием разработанного устройства для плазменной обработки.

Глава 1. Обзор литературы

1.1. Пищевая ценность и биологические особенности томата

Томаты (*Solanum lycopersicum* L.) относятся к семейству пасленовые, являются культурой, известной и широко культивируемой во всем мире. Томаты обладают уникальным вкусом и высокой питательной ценностью, содержат в своем составе большое количество биологически ценных веществ (белки, жиры, углеводы, органические кислоты, Na, K, Ca, Mg и т.д.), а также витаминов, например, С, В1, В2, РР, К [1,2].

Томаты относятся к овощам климактерического периода, у которых в процессе хранения в определенный период времени усиливается частота дыхания, скорость испарения влаги, выработка этилена, который способствует ускоренному созреванию и старению плодов томата, что приводит к ухудшению качества продукции. Кроме этого, на срок хранения томатов влияют болезни, вызванные жизнедеятельностью патогенных микроорганизмов, грибков, дрожжей, плесеней [3,4]. Для того, чтобы сохранить качество томатов и увеличить срок их хранения, применяют традиционные технологии подготовки томатов. Следовательно, кроме традиционных методов подготовки томатов к хранению, необходим поиск и разработка современных и перспективных методов и технологий, способствующих сохранению качества томатов во время хранения [5,6].

1.2. Традиционные методы и технологии хранения томатов

Одним из традиционных способов хранения томатов является хранение при низких температурах, параметры которого описаны в ГОСТ 1725-2019 «Томаты свежие для промышленной переработки. Технические условия». Согласно нормативному документу, помещения для хранения томатов должны быть хорошо вентилируемыми, чистыми, сухими, с отсутствием сельскохозяйственных вредителей, кроме того, не должно быть постороннего запаха.

По степени зрелости томаты подразделяются на зеленые, молочные, бурые, розовые и красные. При зеленой степени зрелости томаты имеют зеленую окраску, полностью сформировавшуюся структуру плода, плотную мякоть, без ослизнения. Цвет плодов молочной степени зрелости – светло-зеленый с беловатым оттенком, цвет мякоти также светло-зеленый, вокруг семян начинаются признаки ослизнения, при этом кожура еще твердая. Томаты с бурой степенью зрелости плотные, глянцевые, цвет поверхности плодов начинает розоветь у вершины, цвет мякоти белесовато-бурый с пятнами, имеющими светло-розовый оттенок, семена полностью ослизнены. При розовой степени зрелости плоды также плотные, их цвет варьирует от светло-розового до ярко-оранжевого, доходя до 50 % желтовато-бурого, при этом мякоть имеет светло-розовую окраску с беловато-бурыми пятнами. Плоды томата при красной степени зрелости обладают плотной структурой и полной биологической зрелостью, половина поверхности плода может иметь более светлый, розоватый или оранжевый оттенок. В ГОСТ 1725-2019 описаны рекомендуемые температуры и продолжительность хранения для томатов различной степени зрелости при показателях относительной влажности воздуха 85-90 %, которые приведены в таблице.

При разработке современных технологий хранения томатов необходимо учитывать их биологические особенности. Важную роль при хранении томатов играет этилен (выделяемый растениями газообразный фитогормон), который влияет на качество томатов и их продолжительность хранения. Во время хранения томаты вступают в фазу, когда происходит ускоренная выработка этилена, которая приводит к усиленному дыханию плодов и испарению влаги из тканей, быстрому созреванию и старению, что способствует перезреванию, снижению

устойчивости к патогенным микроорганизмам, к размягчению тканей томата. Не в полной мере созревшие томаты имеют низкую интенсивность выделения этилена, но, в свою очередь, более чувствительны к нему, в то время как полностью созревшие томаты являются источником интенсивного выделения этилена [7]. Во время хранения томатов в результате действия ферментов, которые вызывают разложение пектина, происходит размягчение тканей плода, повышается потеря питательных веществ и снижаются качественные характеристики [8]. Кожица плодов томата служит неким барьером для газов, паров воды, предотвращая потерю летучих веществ, создает вокруг оболочки плодов измененную атмосферу, но при этом не в полной мере может сохранить питательные вещества и качественные характеристики томатов, в результате чего сокращается срок хранения томатов [9].

В связи с этим ведется разработка современных технологий хранения томатов с учетом их биологических особенностей во время хранения и созревания по таким направлениям, как физические (низкие температуры, электрическое поле, ультразвук, модифицированная газовая атмосфера (МГА)), химические (озонирование, использование ингибиторов биосинтеза этилена и его поглотителей), биологические (биопрепараты) и совокупность как физических, так и химических (активная упаковка, пленкообразующие антимикробные покрытия).

Для увеличения продолжительности хранения томатов используют такие химические способы обработки томатов к хранению, как применение ингибиторов биосинтеза и поглотителей этилена, которые могут контролировать скорость выработки этилена при созревании томатов, а также озонирование, которое приводит к снижению популяций патогенов, сохраняя качество и безопасность плодов.

Таким образом, традиционные технологии подготовки томатов к хранению не всегда могут обеспечить сохранение качества и безопасности хранящейся продукции на высоком уровне из-за отклонения от стандартных параметров и режимов при хранении, ресурсоемкости и неэкологичности. Поэтому необходим поиск современных и перспективных технологий обработки томатов, поддерживающих качественные характеристики плодов, увеличивающих продолжительность хранения, которые являются эффективными, недорогими и безопасными.

В качестве одного из перспективных физических методов рассматривается – холодная плазма – как экономичный и безопасный способ обработки овощей и фруктов, с целью улучшения всхожести семян [10], роста и урожайности различных растений, сохранения полезных свойств.

Глава 2. Материалы и методы исследования

2.1. Подготовка томатов.

В исследованиях использовался сорт зелёных томатов, собранных в августе 2025 года в с. Верхняя Иволга (Иволгинский район, Республика Бурятия). Плоды в амортизирующей упаковке были доставлены в Институт физического материаловедения СО РАН (г. Улан-Удэ). Томаты были отобраны и случайным образом разделены на 3 групп по 5 штук в каждой.

2.2. Плазменное устройство и обработка томатов.

Обработка проводилась с использованием источника нетермической плазмы, разработанного в Институте физического материаловедения СО РАН [11]. Параметры плазменной струи: диаметр – 2.5 см, длина – 1-2 см, расход газа ($G < 15 \times 10^{-3}$ кг/с), температура аргонового факела – 18-20°C [12].

Томаты обрабатывались нетермической плазмой при токах 300 мкА, 500 мкА и 1500 мкА в течение 30 секунд, после чего хранились в комнатных условиях. Фиксация состояния созревания проводилась на 0-й, 7-й, 14-й, 21-й, 28-й и 35-й день хранения.

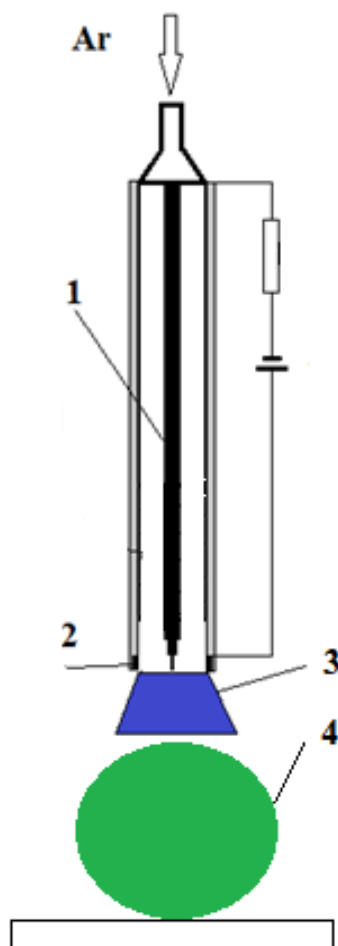


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки. а) 1 – острый катод; 2 – цилиндрический анод; 3 – нетермическая аргоновая плазма; 4 – томат.

Глава 3. Результаты и обсуждение

3.1. Влияние силы тока при кратковременной плазменной обработке на скорость созревания томатов

Цвет томатов является наглядным индикатором их качества и спелости, обусловленной накоплением пигмента ликопина.

Как видно из рисунка 2, кратковременное воздействие плазмой в течение 30 секунд приводит к ускоренному покраснению томатов. При токе $I = 500$ мкА покраснение происходит быстрее, чем при $I = 300$ мкА. Необработанные томаты (контрольная группа) оставались практически зелёными в течение месяца наблюдения.

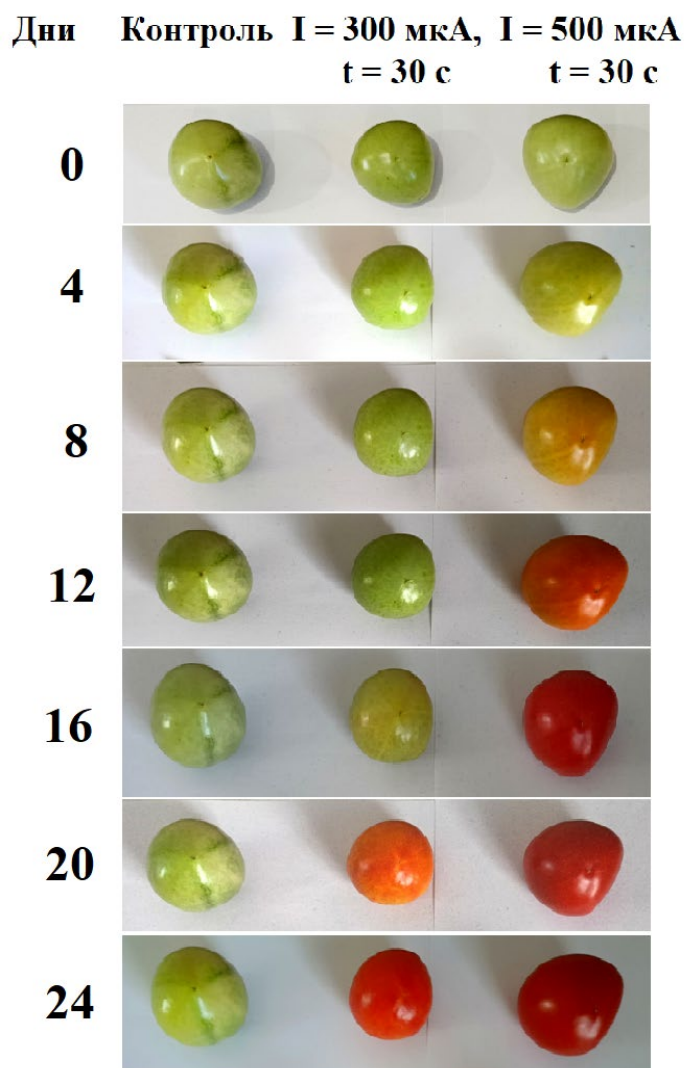


Рис. 2. Влияние плазменной обработки на изменение цвета томатов.

3.2. Влияние времени экспозиции плазменной обработки на динамику изменения цвета плодов

При повышении интенсивности обработки (Рисунок 3) кратковременное воздействие ($t = 30$ с) холодной аргонной плазмы также приводит к ускоренному созреванию – к 11-му дню томаты полностью покраснели. При этом увеличение времени экспозиции до 120 секунд, напротив, подавляло процесс покраснения по сравнению с контрольной группой в течение всего периода хранения.

Дни контроль $I=1500$ мкА
 $t = 30$ с, $t = 60$ с, $t = 120$ с

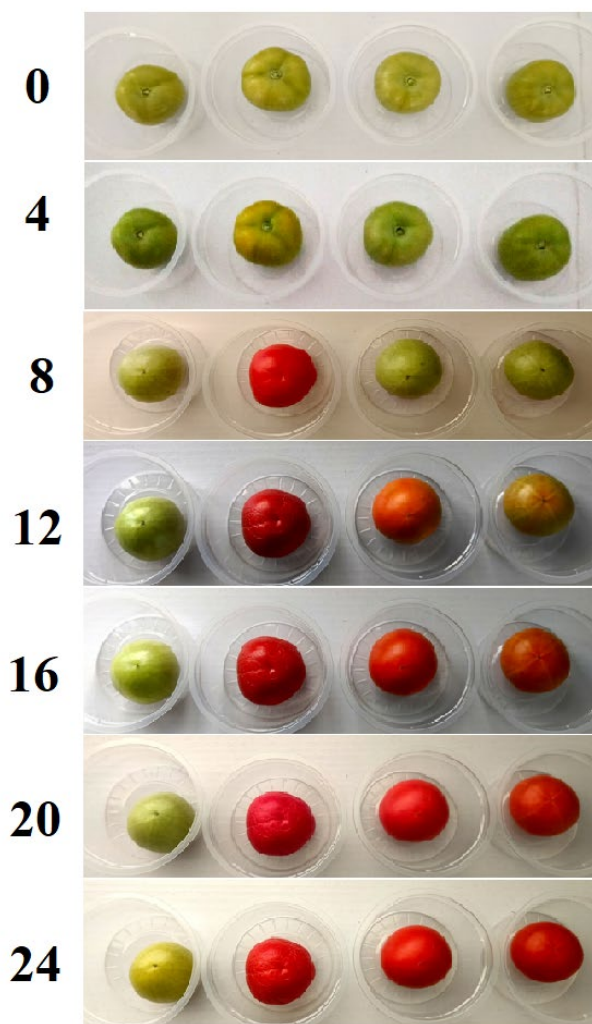


Рис. 3. Влияние интенсивности и времени плазменного воздействия на изменение цвета томатов.

ВЫВОДЫ

1. Проведённый анализ показал, что традиционные методы хранения томатов имеют ограничения по эффективности сохранения качества и безопасности продукции, что обуславливает необходимость разработки новых технологий.

2. Воздействуя холодной плазмой на томаты можно управлять сроками созревания: ускорять созревание томатов для сокращения времени хранения, что позволяет сократить расходы на хранилища, или замедлить созревание для транспортировки и доставки на дальние расстояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курина А.Б., Соловьева А.Е., Храпалова И.А., Артемьева А.М. Биохимический состав плодов томата различной окраски // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25(5). С. 514-527.
2. Скорина В.В., Соляник Т.Л. Биохимический состав сортов томата в открытом грунте // Известия ФНЦО. 2019. № 1. С. 157-159.
3. Karagiannis E. 1 -- Postharvest physiology of climacteric and nonclimacteric fruits and vegetables. In: V. Ziogas, F.J. Corpas (eds). Oxygen, Nitrogen and Sulfur Species in Post-Harvest Physiology of Horticultural Crops. Academic Press, 2024. P. 1-21.
4. Панфилова О.Ф., Пильщикова Н.В. Физиологические аспекты созревания и продления срока хранения сочных плодов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2023. Вып. 4. С. 75-94.
5. Бердникова Р.М. Изучение способов длительного хранения свежих томатов // Материалы Международной научно-практической конференции. Аграрная наука -- сельскохозяйственному производству. Ижевск, 2019. Т.1. С. 17-22.
6. Мильчакова, А.В., Мазунина, Н.И., Вахрушева, В.К. Особенности хранения томатов // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной году науки и технологии в России. Технологические тренды устойчивого функционирования и развития АПК. Ижевск, 2021. Т. III. С. 159-162.
7. Повышение устойчивости томатов при хранении / Г.А. Купин, [и др.]. Краснодар: Издательский Дом-Юг, 2023. 60 с.
8. Wang L., Fan X., Gurtler J. Reduction of Salmonella enterica Typhimurium populations and quality of grape tomatoes treated with dry and humidified gaseous ozone // Postharvest Biology and Technology. 2022. Vol. 193. 112061.
9. Direct and alternating current electric fields affect pectin esterase and cellulase in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit during storage / С.К. Chang, et al. // Postharvest Biology and Technology. 2023. Vol. 205. 112495.
10. Балданов Б.Б., Ранжуров Ц.В. Влияние нетермической плазменной струи на изменение поверхностных свойств семян пшеницы // Химия высоких энергий. – 2023. – Т. 57, № 6. – С. 490 – 494.
11. Патент РФ №2638569 Способ стерилизации газоразрядной плазмой атмосферного давления и устройство для его осуществления / А.П. Семенов, Б.Б. Балданов, Ц.В. Ранжуров, Ч.Н. Норбоев, 2017.
12. Балданов Б.Б. Источник объемной плазменной струи на основе слаботоочного нестационарного разряда / Б.Б. Балданов, А.П. Семенов, Ц.В. Ранжуров // Известия Российской академии наук. Серия физическая. -- 2019. -- Т. 83. - №11. -- С. 1544-1547.