

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ДЫХАНИЯ ПЛОДОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**Бородай И. И., Кунденко Н. П.***Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко*

На основе проведенного анализа методов и устройств контроля дыхания плодов установлено, что для их длительного хранения следует применять метод диэлькометрии на основе резонаторных систем для измерения концентрации этилена, углекислого газа, кислорода и определения биотропных параметров электромагнитного излучения для ингибирования синтеза этилена.

Постановка проблемы. При исследовании газообмена плодов и овощей, в процессе их длительного хранения, немаловажное значение имеет выбор метода контроля газовой среды, который с определённой степенью достоверности может характеризовать морфофункциональное состояние плодов и овощей, при облучении их информационным электромагнитным излучением [1]. Применение информационного электромагнитного излучения для облучения плодов позволит ингибировать синтез этилена [2]. В качестве критериев по выбору метода контроля газовой среды плодов должны выступать - информативность, экспрессность, доступность, трудоёмкость метода оценки и возможность сокращения времени воздействия электромагнитного излучения при облучении плодов в процессе их длительного хранения [3].

Анализ последних исследований и публикаций. В плане получения информации об ингибировании синтеза этилена электромагнитным излучением, количествах углекислого газа и кислорода в газовой среде с плодами, определённый интерес представляет метод измерения изменений диэлектрической проницаемости (ДП) газовой среды [4].

В настоящее время отсутствует методология определения численных значений биотропных параметров ЭМП для ингибирования синтеза этилена, недостаточно проведены исследования по созданию электронных систем измерения концентрации этилена, углекислого газа и кислорода для длительного хранения плодов яблонь.

Цель статьи. Проанализировать методы и устройства контроля дыхания плодов и установить, что для их длительного хранения следует применять для измерения концентрации этилена, углекислого газа, кислорода и определения биотропных параметров электромагнитного излучения для ингибирования синтеза этилена.

Основные материалы исследований. Методы исследования газообмена биологических объектов растительного и животного происхождения разрабатывались на протяжении двух столетий и основывались на различных принципах измерения, таких как манометрия, амперметрия, масс-спектрометрия, радиометрия, оптико-акустический и парамагнитный анализ газов и др. Измерения в этой области связаны с определением количества углекислого газа и кислорода, используемых биологическим веществом в процессе жизнедеятельности. Основные методы определения углекислого газообмена растений и семян ос-

нованы на поглощении CO_2 щелочью. Принцип измерения заключается в определении углекислоты путем количественного поглощения ее раствором щелочи и последующего измерения концентрации этого раствора по отношению к контрольному [5]. Для определения концентрации раствора, поглощающего углекислоту, используют способы титрования: объемное – раствором кислоты в присутствии индикатора, электрометрическое – по величине омического сопротивления щелочи и др. Приборы на основе объемного титрования, несмотря на широкое применение, отличаются громоздкостью, хрупкостью из-за стеклянных частей, ограниченной точностью измерений. Электрометрические приборы, обладая высокой чувствительностью измерений (0,004 мг $\text{CO}_2/\text{л}$), не дают возможности получить очень важную для исследования процесса газообмена концентрацию CO_2 в воздухе в момент измерения [6]. Методы, основанные на измерении рН раствора при его контакте с исследуемым воздухом, с последующим вычислением по полученным данным концентрации углекислоты в воздухе, являются одними из лучших. Методы измерения рН, несмотря на хорошие качества, обладают существенными недостатками, к числу которых следует отнести визуальное определение измеряемой величины и большие ошибки измерений [7]. Измерение углекислоты по поглощению инфракрасного излучения, на основе которого разработаны оптико-акустические газоанализаторы, отличается высокой чувствительностью и точностью измерений газообмена (до 0,001 % CO_2) [8]. Однако, инерционность измерений и необходимость очищения исследуемого воздуха от водяных паров, имеющих максимум поглощения в инфракрасной области спектра, являются существенными недостатками этого способа измерения [9]. Особую группу определения газообмена составляют комплексные методы. С их помощью можно определить как количество выделенной углекислоты, так и объем поглощенного кислорода. Углекислота определяется путем поглощения ее щелочью, а кислород – путем измерения объема воды, заполняющей объем сосуда с кислородом по мере изменения его объема.

Положительной стороной описываемых методов является возможность определять как углекислоту, так и кислород. Но их чувствительность и точность невелика, и поэтому в большинстве случаев при использовании этих методов требуются длительные экспозиции [9].

При углубленном анализе газообмена следует проводить одновременное измерение, как углекислого газа, так и кислорода. Методы измерения газообмена биологических веществ, по количеству выделенного или поглощенного кислорода довольно многообразны. Наиболее простым способом определения количества выделенного или поглощенного кислорода является объемный газовый анализ проб газа, периодически отбираемых из приемника с объектом. Обычно при этом проба газа приводится в соприкосновение с раствором пирогаллола, и весь кислород, имевшийся в пробе, поглощается им. По изменению объема газа судят о концентрации кислорода. Однако, такие измерения не дают возможности достоверно судить о процессах газообмена [9].

Точные результаты дает метод, основанный на применении принципа масс-спектрометрических измерений содержания компонентов в газовой смеси. Данный метод нашел применение для исследований газообмена со стабильными и радиоактивными изотопами. Несмотря на простоту принципа измерения, практическое его осуществление сопровождается очень многими трудностями и требует сложной электронно-вакуумной аппаратуры [9, 10].

Из всех методов исследования газообмена по кислороду наиболее широкое распространение нашел манометрический. Преимуществом манометрии является высокая чувствительность, регистрация показаний за короткий промежуток времени, возможность работы при высоком содержании кислорода и одновременное изучение газообмена двух газов (CO_2 и O_2). В силу указанных преимуществ манометрический способ занимает особое положение даже в сравнении с таким методом, как оптико-акустический [9].

В основе манометрического метода широкое распространение получил метод Варбурга. Обычно манометрический прибор представляет собой термостатную ванну, снабженную специальным механизмом для укрепления и приведения в качательное движение набора манометров с присоединенными к ним на шлифах сосудиками.

Из разработанных в последнее время приборов манометрического типа заслуживает внимания респирометр с повышенной точностью и графической записью процесса газообмена [10]. Эта цель достигается с помощью применения в микрореспирометрах стандартных микропипеток ($0,1 \text{ мм}^3$) с ценой деления $0,001 \text{ мм}^3$. Тонкий внутренний диаметр микропипетки позволяет улавливать малые перемещения водяного столба манометрической жидкости. Существенными недостатками рассмотренных устройств являются: необходимость калибровки измерительных сосудов, громоздкая и хрупкая манометрическая техника, невозможность автоматизации процесса измерений. В связи с вышеизложенным, необходимо разработать респирометры, исключающие указанные недостатки.

Из анализа литературных данных [9] следует, что измерение функции дыхания биологических веществ можно проводить по изменению диэлектрической проницаемости газа, окружающего биологический объект.

Поляризация $P(\omega)$ газа атмосферы, возникающая под влиянием поля СВЧ, определяется [11]

$$P(\omega) = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{4\pi N}{3} \left[\alpha_0 + \frac{\mu^2}{3KT} \cdot \frac{1}{1 + i\omega\tau} \right], \quad (1)$$

где ε - диэлектрическая проницаемость;
 M - молекулярный вес;
 ρ - плотность газа;
 N - число Авогадро;
 α_0 - средняя поляризуемость молекулярного газа;
 μ - постоянный дипольный момент;
 K - постоянная Больцмана;
 T - абсолютная температура;
 τ - время релаксации.

Для внешних полей с частотой меньше 100 ГГц $\omega\tau \ll 1$ и выражение (1) записывается

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{4\pi N}{3} \left[\alpha_0 + \frac{\mu^2}{3KT} \right]. \quad (2)$$

Для неполярных газов $\mu = 0$, а выражение (2) имеет вид

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{4\pi N \alpha_0}{3}. \quad (3)$$

Выражение (3) для идеального газа запишется

$$\varepsilon - 1 = K_1 \frac{P}{T}. \quad (4)$$

Для полярных газов

$$\varepsilon - 1 = \frac{\rho}{M} 4\pi N \left[\alpha_0 + \frac{\mu^2}{3KT} \right] \quad (5)$$

и с учетом (4)

$$\varepsilon - 1 = K_2 \frac{\rho}{T} \left[A + \frac{B}{T} \right], \quad (6)$$

где K_2 , A , B - постоянные коэффициенты.

Предполагая выполнимость закона о парциальных давлениях (закон Дальтона), диэлектрическая проницаемость смеси полярных и неполярных газов можно записать как сумму вида

$$\varepsilon - 1 = \sum_i K_{1i} \frac{P_i}{T} + \sum_q K_{2q} \frac{P_q}{T} \left[A_q + \frac{B_q}{T} \right]. \quad (7)$$

С учетом наличия при газообмене углекислого газа (CO_2), сухого воздуха и водяного пара, выражение для ε запишется

$$\varepsilon - 1 = K_{11} \frac{P_d}{T} + K_{21} \frac{l}{T} \left[A + \frac{B}{T} \right] + K_{12} \frac{P_l}{T}, \quad (8)$$

где P_d - давление сухого воздуха;
 l - парциальное давление водяного пара;

P_1 - парциальное давление CO_2 .

Из анализа уравнения (8) следует, что с использованием метода измерений функции дыхания биологических объектов по величине ДП газа отпадает необходимость в определении количеств O_2 и CO_2 , так как любые количественные изменения CO_2 и O_2 будут пропорциональны изменению ДП газа, окружающего объект.

Диэлькометрические методы измерения дыхания биологических веществ предъявляют высокие требования по чувствительности измерений: до 10^{-8} для $\Delta\varepsilon'$ и $10^{-6} \div 10^{-7}$ для $\Delta\varepsilon''$. Из анализа измерений ДП газов следует, что резонаторные методы измерения ДП газов могут быть использованы для измерения функции дыхания биологических объектов. Теория всех методов проста и справедлива для всех типов резонаторов. Соотношения для диэлектрических параметров газа имеют вид /12/:

$$\Delta\varepsilon' = K_1 \frac{2\Delta f}{f_0}, \quad \Delta\varepsilon'' = \left(\frac{1}{Q_1} - \frac{1}{Q_0} \right), \quad (9)$$

где Δf - изменение частоты резонатора при дыхании биологического объекта;

Q_0 и Q_1 - добротности резонатора без газообмена и при наличии газообмена.

Однако, данный вопрос требует как теоретических, так и экспериментальных исследований.

Выводы. Из приведенного материала следует:

1. Определение численных значений биотропных параметров информационного радиоимпульсного электромагнитного излучения для ингибирования синтеза этилена, выделяемого плодовоовощной продукцией, возможно на основе моделей, описывающих процесс дыхания растительной клетки под воздействием радиоимпульсного электромагнитного излучения.

2. Для контроля дыхания плодов следует разработать автоматизированную систему на основе резонаторного метода измерения диэлектрической проницаемости газообмена плодовоовощной продукции с окружающей средой.

Список использованных источников

1. Пресман А. А. Электромагнитные поля и живая природа /А. А. Пресман. - М.: Наука, 1968. - 288 с.
2. Гудковский В. А. Эффективность модифицированной атмосферы и ингибитора биосинтеза этилена для хранения плодов, ягод и овощей / В. А. Гудковский, Л. В. Кожина, А. Е. Балакирев // Вестник МичГАУ. - 2009. - № 1. - С. 53-56.
3. Потапов А. А. Современные методы и средства измерения параметров диэлектриков: обзорная информация /А. А. Потапов, О. И. Гудков. - М.: ВНИИКИ, 1974. - 68 с.
4. Брандт А. А. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах / А. А. Брандт. - М.: Физматгиз, 1964. - 488 с.

5. Санадзе Г. А. Применение титрометрического газоанализатора для определения фотосинтеза и дыхания / Г. А. Санадзе // Бот. журн. - 1963. - Т. 48. - № 12. - С. 1796-1799.

6. Вознесенский В. Л. Измерение интенсивности фотосинтеза кондуктометрическим методом / В. Л. Вознесенский // Биофизика. - 1960. - Т. V. - № 6. - С. 755-757.

7. Силева М. Н. Колориметрический метод определения фотосинтеза и дыхания растений / М. Н. Силева // Бюлл. гл. бот. сада. - 1955. - Вып. 20. - С. 101-106.

8. Беликов П. С. Опыт применения инфракрасного газоанализатора (ГИП-5) для определения интенсивности фотосинтеза / П. С. Беликов, М. В. Моторина, Е. Б. Куракова // Изв. Тимирязевск. с.х. акад. - 1960. - Вып. 3(34). - С. 30-39.

9. Вознесенский В. Л. Методы исследования фотосинтеза и дыхания растений / В. Л. Вознесенский, О. В. Зеленский, О. А. Семихатова. - М.: Наука, 1965. - 306 с.

10. Зеленский О. В. О взаимоотношениях между фотосинтезом и дыханием / О. В. Зеленский // Бот. журн. - 1957. - Т. 42. - № 11. - С. 1674-1690.

11. Харвей А. Ф. Техника сверхвысоких частот / А. Ф. Харвей. - М.: Сов. радио, 1965. - 783 с.

12. Бородин И. Ф. Применение СВЧ-энергии в сельском хозяйстве / И. Ф. Бородин, Г. А. Шарков, А. Д. Горин. - М.: ВНИИТЭИ Агропром, 1987. - 138 с.

Анотація

АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ПРИСТРОЇВ КОНТРОЛЮ ДИХАННЯ ПЛОДІВ ПРИ ДІЇ НА НИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Бородай І. І., Кунденко М. П.

На основі проведеного аналізу методів і пристроїв контролю дихання плодів встановлено, що для їх тривалого зберігання слід застосовувати метод дієлькометрії на основі резонаторів систем для вимірювання концентрації етилену, вуглекислого газу, кисню і визначення біотропних параметрів електромагнітного випромінювання для пригнічення синтезу етилену.

Abstract

ANALYSIS METHODS AND DEVICES FOR CONTROL OF BREATH OF FRUIT WHEN EXPOSED TO ELECTROMAGNETIC RADIATION

I. Boroday, N. Kundenko

Based on the analysis and control of breathing devices fruits found that their long-term storage should be used dielkometrii method based on the resonator system for measuring the concentration of ethylene, carbon dioxide, oxygen, and determination of parameters biotropic electromagnetic-magnetic radiation to inhibit the synthesis of ethylene.