- сельских территорий: материалы междунар. агроэкологического форума. – СПб.: ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 2013. – С. 189-193.
4. Патент РФ № 2603910, МПК A01G 9/24. Шкаф с регулируемым микроклиматом / В.В. Минеев, В.А. Золотарев, В.В. Альт, В.М. Фурзиков, С.В. Рожанская. – Заявка № 2015124018/13; Заявлено 19.06.2015; Оpubл. 10.12.2016 Бюл. № 34.
5. Альт В.В., Минеев В.В., Золотарев В.А., Фурзиков В.М. Повышение влажности в рабочей камере шкафа искусственного климата БИОТРОН // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Казахстана, Беларуси и Болгарии: сборник науч. докл. XX Междунар. науч.-практ. конф., 2017. – С. 261-263.
6. Альт В.В., Золотарев В.А., Минеев В.В., Фурзиков В.М. Повышение влажности в рабочей камере шкафа искусственного климата БИОТРОН // Информационные технологии, системы и приборы в АПК: материалы 6-й междунар. науч.-практ. конф. «АГРОИНФО-2015». – Новосибирск: Сибирский физико-технический институт аграрных проблем. 2015. – Ч. 1. – С. 188-191.
7. Патент РФ № 2723579, МПК A01G 9/24, A01G 9/26, A01G 9/20. Шкаф с регулируемым искусственным микроклиматом / В.В. Минеев, В.В. Альт, В.А. Золотарев, О.В. Елкин, В.М. Фурзиков. – Заявка № 2019120715; Заявлено 01.07.2019; Оpubл. 16.06.2020 Бюл. № 17.
8. Данчеев В.П., Кинкладзе К.К. Развертывающие цифровые функциональные преобразователи. Гибкое использование памяти. (Библиотека по автоматике: Вып. 672). – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 120 с.

УДК 538.9

DOI: 10.26898/agroinfo-2021-200-203

*Минеев В.В., Елкин О.В., Рихтер В.А.,
СибФТИ СФНЦА РАН, Новосибирская область, р.п. Краснообск*

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ГРИБНЫХ БОЛЕЗНЕЙ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ

В статье рассмотрена возможность диагностики грибных болезней земляники садовой с помощью эквивалентных электрических схем, параметры которых рассчитываются по данным биоимпедансной спектроскопии листьев.

Ключевые слова: земляника садовая, пятнистости, степень поражения, диагностика грибных болезней, электрическая биоимпедансная спектроскопия, эквивалентные электрические схемы.

На долю земляники садовой приходится свыше 70 % общемирового производства ягод. Это обусловлено ее высокими вкусовыми, диетическими и лечебными качествами, а также способностью к быстрому вегетативному размножению, скороплодностью, высокой рентабельностью и урожайностью. Одним из сдерживающих факторов производства является поражение возделываемых сортов грибными болезнями, что приводит к снижению продуктивности плантаций. Наиболее распространенными грибными болезнями являются белая, бурая и угловатая пятнистости [1].

Диагностика болезней и их возбудителей – важное звено в системе защиты растений. Относительно новым методом диагностики является электрическая импедансная спектроскопия (EIS), при которой сигнал с широкой полосой частот используется в качестве источника возбуждения для измерений импеданса, характеризующего электрические свойства исследуемого объекта [2]. Активная составляющая импеданса растительной ткани обусловлена наличием электрических зарядов (ионов) в клеточной и межклеточной жидкостях, а реактивная – электрической емкостью клеточных мембран [3]. Частотные зависимости составляющих импеданса растительной ткани позволяют решить обратную задачу: найти параметры двухполюсника, состоящего из резисторов и конденсаторов, частотные зависимости составляющих импеданса которого были бы близки к экспериментально полученным частотным зависимостям импеданса исследуемого объекта. Известно несколько эквивалентных схем замещения в виде резистивно-емкостных двухполюсников и методик расчета их параметров для описания импеданса биологических сред [4, 5, 6].

Цель исследований – выявить возможность обнаружения пятнистостей земляники садовой с помощью параметров элементов эквивалентных электрических схем биоимпеданса растительных тканей ее листьев.

Выбор методики расчета параметров электрической эквивалентной схемы биоимпеданса листьев земляники сделан в пользу методики, изложенной в [5], исходя из следующего:

1. Предлагаемая электрическая эквивалентная схема (рисунок 1) апробирована на биологических тканях растительного происхождения и учитывает параметры C_1 и R_1 двойного электрического слоя на границе раздела металлического измерительного электрода и биологической ткани, то есть позволяет определять электрические параметры C_2 и R_2 только системы растительных клеток.

Рисунок 1. Электрическая эквивалентная схема биоимпеданса листьев земляники садовой: C_1 – эквивалент емкости двойного электрического слоя на границе раздела металлического измерительного электрода и листа земляники; R_1 – электрическое сопротивление двойного электрического слоя переменному току; C_2 – эквивалент электрической емкости мембран растительных клеток; R_2 – электрическое сопротивление межклеточного и внутриклеточного пространства

2. Расчет параметров электрической эквивалентной схемы относительно прост. Для расчета требуется небольшой объем экспериментальных данных: частотные зависимости активной R_s и реактивной X_s составляющих импеданса.

3. Расчет базируется на формуле импеданса Z электрической эквивалентной схемы (рисунок 1) [5]:

$$Z = R_1 + \frac{R_2}{1 + (2\pi f R_2 C_2)^2} + j \left[\frac{1}{2\pi f C_1} + \frac{2\pi f R_2^2 C_2}{1 + (2\pi f R_2 C_2)^2} \right], \quad (1)$$

где величина активного сопротивления импеданса R_s равна

$$R_s = R_1 + \frac{R_2}{1 + (2\pi f R_2 C_2)^2}, \quad (2)$$

а величина реактивного сопротивления импеданса X_s равна

$$X_s = \left[\frac{1}{2\pi f C_1} + \frac{2\pi f R_2^2 C_2}{1 + (2\pi f R_2 C_2)^2} \right]. \quad (3)$$

4. Расчет параметров электрической эквивалентной схемы листьев земляники осуществляется в следующем порядке:

а) экспериментальным путем определялись зависимости активной R_s и реактивной X_s составляющих импеданса от частоты f в диапазоне от 20 Гц до 5 МГц;

б) определялась величина R_1 по формуле (4), полученной из формулы (2) при $f = 5$ МГц:

$$R_1 = R_s \text{ (при } f = 5 \text{ МГц)}; \quad (4)$$

в) определялась величина R_2 по формуле (5), полученной путем нахождения максимума функции (3) с помощью приравнивания к нулю ее производной:

$$R_2 = 2X_{s \max}, \quad (5)$$

где $X_{s \max}$ – максимальное значение реактивного сопротивления импеданса X_s из экспериментально полученной частотной характеристики;

г) определялась величина C_2 по формуле (6), полученной путем нахождения частоты f_{max} , при которой функция (3) имеет максимум:

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f_{max} R_2} ; \quad (6)$$

д) определялась величина C_1 по формуле (7), полученной из формулы (3) при $f = 20$ Гц, когда вторым слагаемым можно пренебречь:

$$C_1 = \frac{1}{40\pi X_s(\text{при } f = 20\text{Гц})} . \quad (7)$$

В соответствии с ГОСТ 8.207-76. ГСИ [7] измерения частотных характеристик активной и реактивной составляющих биоимпеданса тканей листьев растений земляники при последовательной схеме замещения проводились путем многократных наблюдений прецизионным анализатором импеданса WK 6505B (Wayne Kerr Electronics, Великобритания), включенного в «Государственный реестр средств измерений РФ». Использовались два типа датчиков с электродами, накладываемыми с двух сторон листовой пластинки с постоянным усилием прижима, которое обеспечивалось с помощью зажимов типа «прищепка». Один тип датчика состоял из двух неполяризующихся дисковых электродов диаметром 8 мм и обеспечивал протекание электрического тока поперек листовой пластинки. Второй тип датчика состоял из четырех тонких позолоченных прямоугольных пластинок размером 2 на 10 мм, соединенных электрически попарно, и обеспечивал протекание электрического тока вдоль листовой пластинки. Для уменьшения контактного сопротивления между электродами и поверхностью листовой пластинки электроды смазывались электродным гелем «Акугель-Электро» производства ООО «МедиКрафт» (Россия). Каждый параметр биоимпеданса измерялся в четырех точках листовой пластинки при установке электродов попарно справа и слева от центральной жилки. При измерениях листовые пластинки полностью исключали их механические повреждения при нанесении проводящего геля, прикреплении и снятии электродов.

Для проведения измерений биоимпеданса тканей листьев растений земляники выбирали нормально развитые растения с типичными сортовыми признаками и наличием типичных симптомов их поражения – белой пятнистостью (возбудитель – *Ramularia tulasnei* Sacc.), бурой (*Marssonina potentillae* Desm.), угловатой (*Dendrophoma obscurans*) – с различным уровнем интенсивности поражения. Диагностику болезней проводили общепринятыми методами визуального анализа симптомов, оценку интенсивности поражения проводили с использованием методики оценки и визуальной шкалы для пятнистостей в баллах по площади исследуемой четвертинки листовой пластинки, занятой некротическими пятнами, выраженной в процентах от общей площади данной четвертинки [1]. Измерения проводили на листьях двух сортов земляники садовой, на которых были симптомы всех трех пятнистостей: Царица и Ананаса. При измерениях сорта Царица использовались дисковые электроды, сорта Ананаса – прямоугольные.

Листья растений срезали утром непосредственно перед проведением измерений на коллекционном участке сада СибФТИ СФНЦА РАН – полигоне лаборатории экспериментальных исследований. Влажность и рН почвы на грядке находились в диапазонах от 40 до 85 % и от 5,4 до 6,4 единиц, соответственно. Листья растений для проведения измерений перенесли в помещение лаборатории в полиэтиленовых пакетах.

Измерения проводились при освещенности 18000 лк, температуре $(28 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности окружающего воздуха $(40 \pm 5) \%$.

Результаты исследований, при представлении растительной ткани листьев земляники электрической моделью, приведенной на рисунке 1, сведены в таблицу.

Из таблицы следует, что значения эквивалента электрической емкости мембран растительных клеток C_2 листьев растений земляники, рассчитанные по формулам 5 и 6, уменьшаются по мере повышения степени поражения земляники сортов Царица и Ананаса белой и бурой пятнистостями. Следовательно, метод эквивалентных схем может быть использован для диагностики грибных болезней. Зависимости электрического сопротивления межклеточ-

ного и внутриклеточного пространства, характеризуемого элементом R_2 эквивалентной схемы (рисунок 1), от степени поражения не установлено. Данные исследований поражения угловатой пятнистостью не приводятся из-за недостаточного количества пораженных этой болезнью растений на плантации.

Таблица 1

Результаты расчета средних значений элемента C_2 электрической эквивалентной схемы биоимпеданса листьев земляники

Степень поражения (балл)	Эквивалент электрической емкости мембран растительных клеток C_2 , пФ			
	Сорт земляники Ананаса		Сорт земляники Царица	
	Белая пятнистость	Бурая пятнистость	Белая пятнистость	Бурая пятнистость
0	207	207	9400	9400
1	201	204	5400	5700
2	189	195	4260	4750
3	186	187	4210	4390
4	—	158	—	—

Использованные источники:

1. Говорова Г.Ф., Говоров Д.Н. Грибные болезни земляники садовой, селекция на иммунитет и другие методы защиты: монография. – М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2015. – 168 с.
2. Named K. B., Zorrig W., Hamzaoui A.H. Electrical impedance spectroscopy: A tool to investigate the responses of one halophyte to different growth and stress conditions // Computers and Electronics in Agriculture. – 2016. – Vol. 123. – P. 376–383.
3. Гираев М.А. Частотный спектр импеданса биотканей растительного происхождения // Вестник Дагестанского государственного университета. – 2015. – Т. 30. – Вып. 6. – С. 50-55.
4. Зуев А.Л., Мишланов В.Ю., Судаков А.И., Шакиров Н.В., Фролов А.В. Эквивалентные электрические модели биологических объектов // Российский журнал биомеханики. – 2012. – Т. 16. – № 1 (55). – С. 110-120.
5. Голев И.М., Санин В.М., Титов С.А., Коротков Л.Н. Электрическая эквивалентная схема биологических объектов растительного происхождения. – Вестник ВГТУ, 2013. – Т. 9. – №4. – С. 26-29.
6. Кривцун И.В., Пентегов И.В., Сидорец В.Н., Рымар С.В. Методика обработки экспериментальных данных при моделировании дисперсии импеданса биологических тканей с помощью схемы замещения Фрике // Электротехника и Электро-механика. – 2017. – №5. – С. 27-37.
7. ГОСТ 8.207-76. ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 7 с.

УДК 637.4.04/.076:004.9

DOI: 10.26898/agroinfo-2021-203-209

Муковин А.С.², Алейников А.Ф.^{1,2},

¹ СибФТИ СФНЦА РАН, Новосибирская обл., р.п. Краснообск

² ФГБОУ ВПО НГТУ, Новосибирск

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭМБРИОНОВ ПТИЦ ВО ВРЕМЯ ИНКУБАЦИИ

В статье рассматриваются основные функциональные параметры инкубационных яиц и эмбрионов до и во время инкубации. Выявляется значимость каждого параметра для процесса производства мяса птицы. Определяется влияние своевременной диагностики этих параметров на эффективность производства. Обоснован наиболее перспективный функциональный параметр для мониторинга во время инкубации – частота сердечных сокращений.