

CZU: 535.37:681.7

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ РАСТЕНИЙ С УДАЛЕННОЙ ДИСТАНЦИИ

Аркади КИРИЦА, Надежда НАСЕДКИНА, Владимир ПРИЛЕПОВ

Молдавский государственный университет

Представлены исследования спектров люминесценции растений с удаленной дистанции на основе компактной оптической системы.

Ключевые слова: флюоресценция растений, удаленное детектирование.

DETECTION OF PLANTS FLUORESCENCE SPECTRA FROM REMOTE DISTANCE

The investigations of fluorescence spectral distribution of the plants from remote distance using the compact optical device are presented.

Keywords: plants fluorescence, remote sensing.

Введение

Исследование спектров флюоресценции растений с удаленной дистанции позволяет оценивать их состояние на основе данных по содержанию хлорофилла в растительных тканях [1-3]. Каждому виду растений присуща специфическая спектральная флюоресценция, что позволяет оценивать популяцию определенного вида среди множества других видов растительности. Изменение спектральной зависимости флюоресценции позволяет детектировать заболевания растений на ранних стадиях развития. Современные методы исследования спектральной зависимости флюоресценции основаны на использовании современных спектрофотометров и оптических систем, позволяющих исследовать обширные растительные плантации с использованием как управляемых, так и неуправляемых летательных аппаратов.

Цель данной работы состояла в исследовании спектров флюоресценции растений на основе компактной оптической схемы без использования крупногабаритных измерительных приборов, таких как спектрофотометры и монохроматоры.

Экспериментальная установка

Для исследования спектров фотолюминесценции растений с удаленной дистанции использовалась оптическая установка, принципиальная схема которой представлена на рис.1.

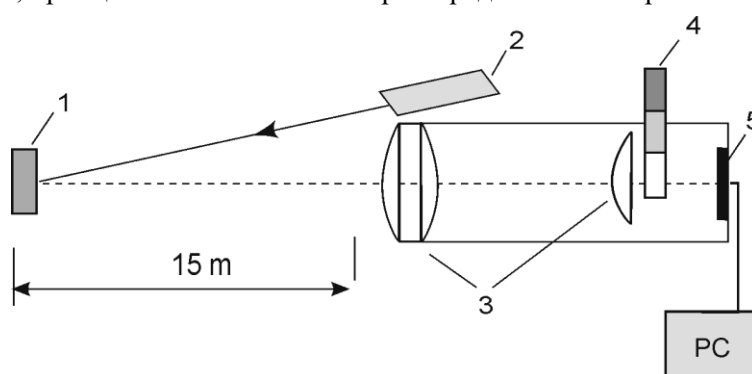


Рис.1. Оптическая установка:

1 – исследуемый объект; 2 – источник лазерного излучения $\lambda=405$ nm; 3 – телескопическая система; 4 – набор узкополосных интерференционных фильтров; 5 – матрица цифровой камеры Nikon D3100.

Исследуемый объект (1) расположен на расстоянии 15 m от источника лазерного излучения (2) с длиной волны $\lambda=405$ nm, индуцирующего флюоресценцию растений в видимой области спектрального излучения. Сигнал от объекта при помощи телескопической системы (3) проходит через набор узкополосных интерференционных фильтров (4) и проецируется на матрицу цифровой камеры (5). Набор узкополосных интерференционных фильтров состоит из 18 фильтров с длинами волн 420 nm, 430 nm,

442 nm, 455 nm, 470 nm, 486 nm, 500 nm, 515 nm, 532 nm, 546 nm, 560 nm, 580 nm, 594 nm, 610 nm, 636 nm, 650 nm, 671 nm и 685 nm. Каждый фильтр пропускает узкий спектральный диапазон видимого излучения и расположен в области спектральной чувствительности цифровой камеры 400 – 700 nm.

Спектральные зависимости пропускания используемых фильтров представлены на рис.2.

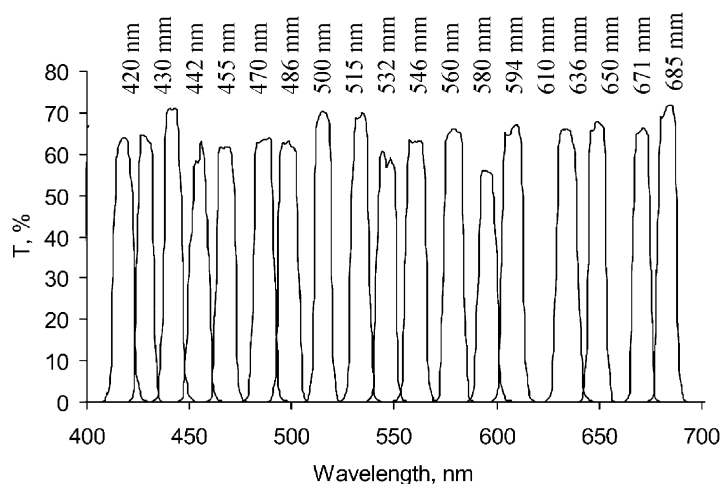


Рис.2. Спектральная зависимость пропускания узкополосных интерференционных фильтров.

Исследование фотолюминесценции растений с удаленной дистанции проводится путем регистрации на цифровую матрицу изображений области фотолюминесценции при последовательной смене интерференционных фильтров. Так, для построения спектральной зависимости фотолюминесценции растений необходимо провести градуировку системы телескоп – интерференционные фильтры – матрица цифровой камеры для каждого интерференционного фильтра. Необходимость градуировки обусловлена различным пропусканием используемых интерференционных фильтров (рис.2) и нелинейной характеристикой спектральной чувствительности матриц цифровых камер [4]. Градуировка системы телескоп – интерференционные фильтры – матрица цифровой камеры для каждого интерференционного фильтра проводилась при одинаковых значениях чувствительности цифровой камеры (ISO 3200) и времени регистрации изображения $t=1/10$ s, а изменялась только интенсивность падающего светового сигнала. Источник излучения располагался на расстоянии 15 m от телескопической системы. Изображения регистрировались на матрицу цифровой камеры как RAW файлы. Компьютерная обработка RAW файлов в графическом редакторе позволяет определить яркость изображения в условных единицах (от 0 до 255) отдельно для каждого из каналов системы RGB. Для изображений, зарегистрированных при помощи фильтров 442 – 486 nm, яркость определялась по показаниям Blue channel, для фильтров 500 – 560 nm – по Green channel и для фильтров 580 – 685 nm – по Red channel.

Метод исследования спектров флюоресценции с удаленной дистанции основан на регистрации изображений объекта для каждого из узкополосных интерференционных фильтров. Компьютерная обработка полученных изображений позволяет определять яркость сигнала в условных единицах оттенков серого цвета (0-255) в каждой точке изображения объекта, что позволяет определять спектральную зависимость флюоресценции исследуемого объекта.

Полученные результаты и их интерпретация

Исследования проводились при возбуждении флюоресценции лазерным излучением с длиной волны 405 nm. С помощью оптической системы лазерный луч проецируется на поверхность исследуемого объекта в виде точки диаметром 3 mm. На рис.3 представлено изображение поверхности кленового листа, освещенного лазерным лучом с длиной волны 405 nm (первый кадр), полученное с расстояния 15 m.

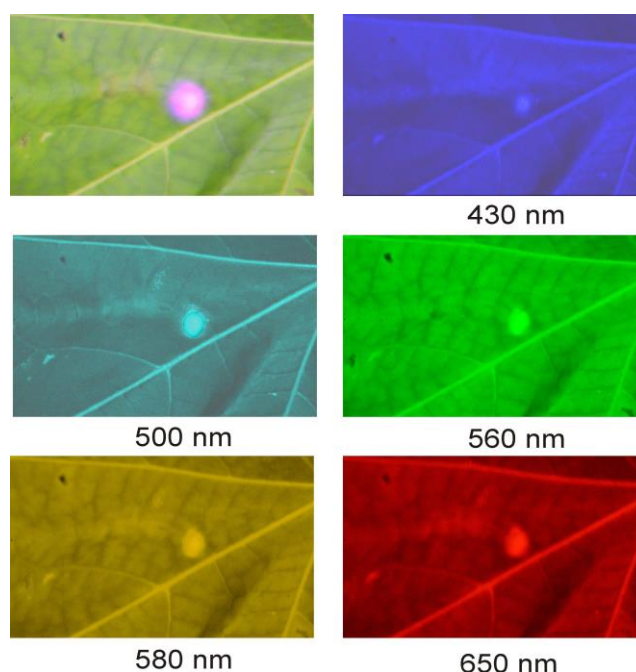


Рис.3. Изображения поверхности кленового листа, полученные на расстоянии 15 m при возбуждении флюоресценции лазерным излучением с длиной волны 405 nm.

На рис.3 представлены изображения исследуемого объекта, зарегистрированные через узкополосные интерференционные фильтры в разных областях спектра. Изображения записываются как RAW файлы, что позволяет обрабатывать оптический сигнал по трем каналам системы RGB: Red, Blue и Green. При компьютерной обработке спектров флюоресценции необходимо учитывать тот факт, что отраженный свет от исследуемого объекта накладывается на сигнал флюоресценции. Используемая техника позволяет отделить отраженный сигнал от сигнала флюоресценции. В качестве примера на рис.4 представлено изображение поверхности кленового листа, зарегистрированное через узкополосный интерференционный фильтр 650 nm.

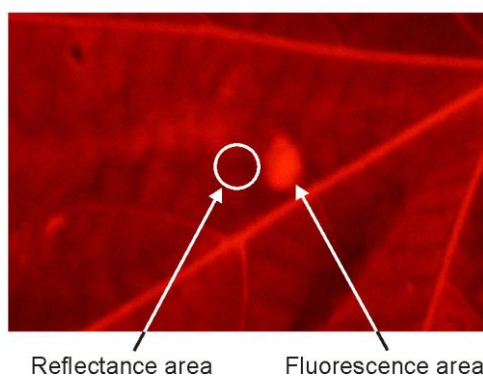


Рис.4. Изображение поверхности кленового листа, записанное с помощью узкополосного интерференционного фильтра 650 nm.

При компьютерной обработке отраженный сигнал от поверхности кленового листа измеряется вблизи места флюоресценции. Из области флюоресценции через оптическую систему устройства проходят два сигнала: свет, отраженный от поверхности листа, и сигнал флюоресценции. Поскольку отраженный свет измеряется от области, смежной с областью флюоресценции, разность между сигналом в области, освещаемой лазерным излучением, и измеренным отраженным сигналом позволяет выделить сигнал флюоресценции исследуемого объекта. На рис.5 (пунктирная линия) показана спектральная зависимость флюоресценции кленового листа, полученная по предложенной методике – с расстояния 15 m.

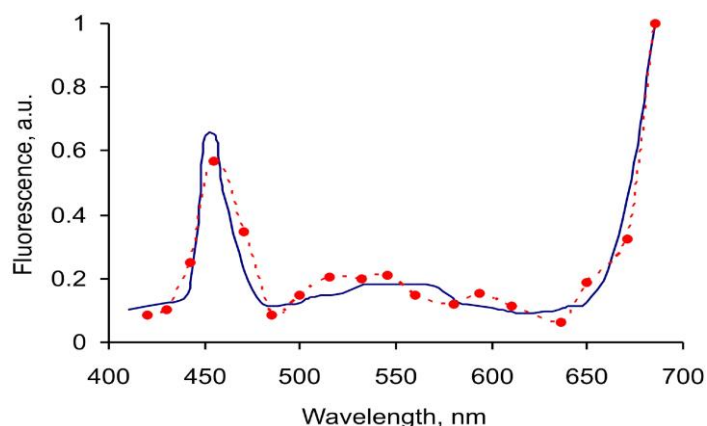


Рис.5. Спектральная зависимость флюоресценции кленового листа, полученная с расстояния 15 м с помощью монохроматора (сплошная линия) и по предложенной методике.

Для оценки полученных результатов была измерена спектральная зависимость флюоресценции с использованием монохроматора MDR- 2M (сплошная линия, рис.5). Спектральная зависимость измерялась при помощи фотодетектора S120 C PM100 USB ThorLabs (точность измерения оптического излучения 1 nW). Различия в спектральных характеристиках обусловлены несколькими факторами: дискретным набором интерференционных фильтров и более низкой чувствительностью матрицы цифровой камеры по сравнению с фотодетектором монохроматора. Однако характеристическая кривая фотолюминесценции листа клена, полученная с расстояния 15 м, достаточно хорошо сопоставима с зависимостью, полученной при помощи монохроматора, что позволяет исследовать спектры флюоресценции растений с удаленной дистанции.

Выводы

Одновременная регистрация изображения удаленного объекта и спектра его флюоресценции на матрицу цифровой камеры позволяет исследовать состояние растений по спектру их флюоресценции без использования монохроматора и независимо от внешней освещенности. Современные малогабаритные беспилотные летательные аппараты снабжены цифровыми камерами и оптическими системами, которые могут быть модифицированы аналогично оптической схеме, приведенной на рис.1, что позволит проводить удаленно мониторинг состояния растений независимо от времени суток.

Работа выполнена в рамках институционального проекта 15.817.02.34A.

Литература:

1. ZIVCAK, M. et.al. Lettuce flavonoids screening and phenotyping by chlorophyll fluorescence excitation ratio. In: *Planta*. VI, 2017, 00425.
2. CENDRERO-MATEO, M. et.al. Plant chlorophyll fluorescence: active and passive measurements at canopy and leaf scales with different nitrogen treatments. In: *Journal of Experimental Botany*, 2016, vol.67, no.1, p.275–28.
3. WANG, H. et.al. Detecting crop population growth using chlorophyll fluorescence imaging. In: *Applied Optics*, vol.56, no.35, 359762-08.
4. SIGERNES, F. et al. The absolute sensitivity of digital color cameras. In: *Optics Express*, 2009, vol.17, Issue 22, p.20211-20220.

Date despre autori:

Arcadi CHIRITA, cercetător științific coordonator în LCSȘ Înregistrare Fototermoplastică, Universitatea de Stat din Moldova.

E-mail: chirizza@yahoo.com

ORCID: 0000-0002-0817-6102

Vladimir PRILEPOV, cercetător științific superior în LCSȘ Înregistrare Fototermoplastică, Universitatea de Stat din Moldova.

E-mail: compovx@mail.ru

Nadejda NASEDCHINA, cercetător științific în LCSȘ Înregistrare Fototermoplastică, Universitatea de Stat din Moldova.

Prezentat la 25.04.2019