УДК 681.7: 616-71

Н.І. Заболотна
А.О. Драгомирик

АНАЛІЗ СИСТЕМ МЮЛЛЕР-МАТРИЧНОЇ ПОЛЯРИМЕТРІЇ ПРИ ДІАГНОСТИЦІ ХВОРОБ РОСЛИН

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті наведено порівняльні характеристики поляриметричних систем при діагностиці стану рослинних тканин. Обгрунтовано вибір методів лазерної поляриметрії на основі визначення мюллер-матричних зображень тканин рослин для дослідження їх хвороб в інформаційно-вимірювальній системі, в якій застосовано програмний аналіз зображень.

Ключові слова: система поляриметрії, поляризація, матриця Мюллера, діагностика хвороб рослин.

Abstract

The article presents comparative characteristics of polarimetric systems for diagnosing the condition of plant tissues. The choice of laser polarimetry methods based on the determination of Muller matrix images of plant tissues for the study of their diseases in an information and measurement system, in which software image analysis is used, is justified.

Keywords: polarimetry system, polarization, Muller matrix, plant disease diagnostics.

Вступ

У сучасних умовах розвитку аграрної науки та технологій особливого значення набувають методи ранньої діагностики стану рослин, спрямовані на підвищення ефективності виробництва та зменшення втрат врожаю. Традиційні методи для виявлення захворювань, які базуються на візуальному огляді або лабораторному аналізі, характеризуються обмеженою оперативністю та, як правило, дозволяють фіксувати патологічні зміни лише на пізніх стадіях їх розвитку. У зв'язку з цим значного інтересу набувають неруйнівні оптичні методи, серед яких лазерна поляриметрія, яка займає одне з провідних місць завдяки високій чутливості до структурних і функціональних змін у біологічних тканинах.

Патологічні процеси у рослинах, викликані вірусами, бактеріями або грибковими інфекціями, супроводжуються глибокими змінами на клітинному та тканинному рівнях. Зокрема, вірусні ураження призводять до порушення фотосинтетичної активності, зміни вмісту хлорофілу та дисбалансу клітинного метаболізму. Грибкові інфекції часто викликають руйнування клітинних структур, утворення некротичних зон та накопичення токсичних продуктів життєдіяльності патогенів. У результаті формується просторово неоднорідна структура, що включає здорові, хлорозні та некротичні ділянки. Такі зміни істотно впливають на процеси розсіяння та деполяризації світла, що створює фізичну основу для їх виявлення за допомогою поляриметричних методів.

Таким чином, лазерна поляриметрія є сучасним і перспективним інструментом неруйнівної діагностики хвороб рослин. Вона забезпечує високу чутливість до структурних змін, дозволяє здійснювати раннє виявлення патологій та отримувати кількісну інформацію про стан тканин.

Метою даної роботи є проведення класифікаційного аналізу поляризаційних методів дослідження рослинних тканин, на основі яких будуються архітектури сучасних інформаційно-вимірювальних систем діагностики стану досліджуваних об'єктів.

Результати дослідження

Різноманіття поляризаційних методів дослідження рослинних тканин можна класифікувати, вводячи такі класифікаційні ознаки: параметри вектора Стокса перетвореного лазерного пучка, який взаємодіяв із досліджуваним рослинним зразком [1]; параметри матриці Мюллера, яка описує основні оптико анізотропні параметри рослинних тканин [2]; спектрополяриметричні параметри рослинних тканин [3]; параметри розкладу матриці Мюллера; параметри розсіювання пучка оптичного випромі-

нювання що взаємодіяло зі зразком та інші.

Аналіз переваг та недоліків кожного із наведених класів поляризаційних методів при дослідженні рослинних тканин наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики поляриметричних систем при діагностиці стану рослинних тканин

Група вимірюваних параметрів в системі	Вимірюваний параметр в системі	Об'єкт діагностики	Переваги	Недоліки
Інтегральні (Стокса)	Ступінь поляризації	Загальний структурний стан тканини	Простота вимірювання, швидкість	Низька специфічність
	Лінійна поляризація	Орієнтація волокон, клітин	Чутливість до анізотропії	Залежність від геометрії
	Кругова поляризація	Стан хлорофілу, фотосинтез	Висока специфічність до біоструктур	Слабкий сигнал, шум
Мюллер-матричні	Елементи матриці Мюллера	Будь-які оптичні властивості	Максимальна інформативність	Складність обробки
	Деполяризація	Гетерогенність тканини	Чутливість до структури	Неоднозначність інтерпретації
	Дихроїзм	Орієнтація молекул	Добра фізична інтерпретація	Малий сигнал
	Двопроменезаломлення	Волокниста структура	Висока чутливість	Потребує фазових вимірювань
Параметри розкладу Мюллера	Декомпозиція Lu–Chipman	Структура тканин рослин	Зручна інтерпретація	Чутливість до шуму
	Поляризаційні інваріанти	Класифікація станів	Стійкість до похибок	Потребують великих баз даних для класифікації
Спектрополяриметричні	Поляризація в зоні хлорофілу	Фотосинтетична активність	Висока діагностична цінність	Потрібен спектрометр
	Спектри виміряних розподілів параметрів поляризації, що залежать від довжини хвилі	Біохімічний склад	Інформативність	Великий обсяг даних
Просторові розподіли параметрів 3-D вектора Стокса та Мюллер-матричні зображення	Поляризаційні мапи в тривимірному поданні	Локальні дефекти	Виявлення неоднорідностей	Великі обчислення

Мюллер-матрична поляриметрія з урахуванням інваріантного підходу до кута повороту досліджуваного зразка рослини відносно лазерного опромінюючого променя є одним із найбільш перспективних методів з точки зору стійкості до похибок вимірювань.

Ефективну реалізацію такого методу забезпечують класичні архітектури зображувальних Мюллер-поляриметрів, до складу яких крім вимірювального каналу входять програмно-апаратний блок обробки та аналізу отриманих даних та блоку мікроконтролерного керування [4]. Планується в подальшому розширення функціональних можливостей таких систем за рахунок методів обробки та інтелектуалізованого аналізу отриманих мюллер-матричних інваріант тканин рослин.

Висновки

Проведений аналіз характеристик поляриметричних систем при діагностиці стану рослинних тканин дозволив визначити мюллер-матричний підхід з формуванням інварінтності до кута повороту зразку біологічного шару рослини як найбільш перспективний з урахуванням стійкості до похибок вимірювань.

В інформаційно-вимірювальній системі для його реалізації планується розширення функціональних можливостей за рахунок автоматизації вимірювань та введення комп'ютерного інтелектуалізованого аналізу виміряних даних при діагностиці хвороб рослин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.Заболотна Н. І. Принципи і методи поляризаційного картографування біологічних тканин / Н. І. Заболотна, Б. П. Олійниченко // Фотобіологія та фотомедицина. – 2010. – № 3–4. – С. 84–90.

2.Rodríguez C. Polarimetric observables for the enhanced visualization of plant diseases / Carla Rodríguez, Enrique Garcia-Caurel, Teresa Garnatje, Mireia Serra i Ribas, Jordi Luque, Juan Campos, Angel Lizana // Scientific Reports. – 2022. – Vol. 12. – 14743.

3.Van Eeckhout A. Polarimetric imaging microscopy for advanced inspection of vegetal tissues / Albert Van Eeckhout, Enrique Garcia-Caurel, Teresa Garnatje, Juan Carlos Escalera, Mercè Durfort, Josep Vidal, José J. Gil, Juan Campos, Angel Lizana // Scientific Reports. – 2021. – Vol. 11. – 3913.

4. Zabolotna N. System of polarization mapping and intellectual analysis of Mueller matrix invariants of biological layers in the assessment of pathologies / Zabolotna,N., Sholota V. et al. // Proceedings of SPIE.– 2023. – Vol. 12985. – 129850Q.

Заболотна Наталія Іванівна **–** професор кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, E-mail: natalia.zabolotna@gmail.com

Драгомирик Анатолій Олегович — студент групи КОІС-22б факультету інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, E-mail: drahomyryk@gmail.com

Zabolotna Natalia I. - Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, E-mail: natalia.zabolotna@gmail.com

Drahomyryk Anatolii O. **—** student in the KOIS-22b class of the Faculty of Information and Electronic Systems, Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, E-mail: drahomyryk@gmail.com