

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

*D. Artemenko, O. Kitaev,
P. Klochan, Yu. Kolesnik, V. Fedak*

THE OPTOELECTRONIC DEVICE FOR ESTIMATING OF PLANT STATE

The optoelectronic device is considered and methods of plant state estimating by reflection spectrums and chlorophyll fluorescence induction are analyzed.

Рассматривается оптоэлектронное устройство и анализируются способы определения состояния растений по спектральному и индукционно-флуоресцентным показателям.

Розглядається оптоелектронний пристрій та аналізуються способи визначення стану рослин за спектрональними та індукційно-флуоресцентними показниками.

© Д.М. Артеменко, О.І. Китаєв,
П.С. Клочан, Ю.С. Колесник,
В.С. Федак, 2009

УДК 577.3:581.132

Д.М. АРТЕМЕНКО, О.І. КИТАЄВ,
П.С. КЛОЧАН, Ю.С. КОЛЕСНИК,
В.С. ФЕДАК

ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ РОСЛИН

Вступ. Інтенсивні технології виробництва рослинницької продукції та заходи з охорони довкілля потребують сучасних польових інструментальних засобів експресного визначення стану рослин, експрес-діагностики уражень і захворювань. До таких засобів належать комп'ютерні технології, інтелектуальні прилади і обладнання на базі мікроелектроніки, що ґрунтуються на сучасних уявленнях про фізіологію рослин, зокрема, фотосинтезу.

Під станом рослин розуміють значення вибраного переліку показників. Показники стану мають певний діапазон значень, в межах якого виділяють оптимальні, допустимі та критичні значення, відповідні їм стани, впливи, що їх викликають.

Загальні відомості. Розглянемо деякі способи визначення стану рослин на основі оцінки показників фотосинтетичного апарата. Відомий спектрональний спосіб визначення стану рослин шляхом аналізу спектрів відбиття листям рослин при сонячному опроміненні [1]. Оригінальним у способі є використання еталона абсолютного відбиття та поглинання, що дає змогу визначити спектральний та енергетичний склад падаючого сонячного опромінення. Фотоспектральний спосіб (ФПС) полягає в отриманні кольорового зображення листа рослини з допомогою цифрової фотокамери, обробки цього зображення у комп'ютері з виділенням окремих ділянок на різних довжинах хвилі та його аналізу за відповідним алгоритмом. Фотоспектральний спосіб орієнтований на виз-

начення структурних показників листя рослин, зокрема, судин, епідермісу мезофілу, хлоропластів, концентрації та розподілу хлорофілу тощо.

Відомий також індукційно-флуоресцентний спосіб визначення стану рослин [2]. Індукційно-флуоресцентний спосіб (ІФС) полягає у використанні як діагностичних ознак показників індукції флуоресценції нативного хлорофілу (ІФХ) листя рослин. Спосіб орієнтований на визначення функціональних і фізіологічних показників фотосинтезу, зокрема, поглинання світла фотосистемами 1 та 2, передачі збудження в електрон-транспортному окисно-відновлювальному ланцюгу, утворенні енергоємних сполук тощо.

Кожен із способів дозволяє визначити стан рослини за різними показниками і має свої переваги та недоліки. Поєднання спектрозональних та індукційно-флуоресцентних способів визначення стану рослин дозволяє: суттєво підвищити надійність визначень, здійснювати ранню діагностику, ідентифікувати визначальний чинник, прогнозувати зміни стану рослин, визначати топографію і площу уражень у межах листа тощо.

Поглинута хлорофілом енергія квантів світла реалізується шляхом фотохімічних реакцій, теплової дисипації та флуоресценції. Ці процеси конкурентні, тому інтенсивність флуоресценції можна використати для визначення стану фотосинтетичного апарата рослин. Зміна інтенсивності флуоресценції в діапазоні хвиль 680 ÷ 730 нм з часом після темної адаптації має характерний вигляд кривої індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ, або крива Каутського).

Реєстрація кривої ІФХ, її попередній аналіз та визначення діагностичних показників реалізовано у хронофлуорометрі «Флоратест» [3].

В Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України створено оригінальний оптоелектронний пристрій [4] для сумісного визначення діагностичних спектрозональних та індукційно-флуоресцентних показників фрагментів рослин. У ньому використані стандартні елементи і вузли широкого застосування, що суттєво спрощує його виготовлення і зменшує вартість приладу.

Пристрій (рис. 1) працює наступним чином. На пластині розташовують рослинний об'єкт, наприклад, лист рослини, кору тощо. За допомогою світлодіодів, за командою вимірювального блоку опромінюють об'єкт промінням з довжиною хвилі 470 нм. Сигнал флуоресценції з усієї площі об'єкта виділяють за допомогою світлофільтра фотоприймача, реєструють фотоприймачем, вимірюють та запам'ятовують у вимірювальному блоці. Одночасно через світлофільтр цифровою чорно-білою відеокамерою сприймають і запам'ятовують флуоресцентний сигнал у вигляді зображення об'єкта. Аналогічне зображення отримують і запам'ятовують у кольоровій фотокамері. Зображення містить червоні кольори флуоресценції та сині кольори опромінення. В подальшому їх розділяють програмно у комп'ютері. Результати вимірювань флуоресценції з вимірювального блоку, цифрової чорно-білої відеокамери та кольорової фотокамери запам'ятовують у комп'ютері для подальшої сумісної обробки. Аналогічно пристрій може працювати при сонячному освітленні. За яким вимірювання здійснюють при відкритій шторці та вимкнених світлодіодах.

Для отримання кольорового зображення при денному освітленні використовують кольорову фотокамеру, але шторкою і світлофільтром не користуються та світлодіоди вимкнені.

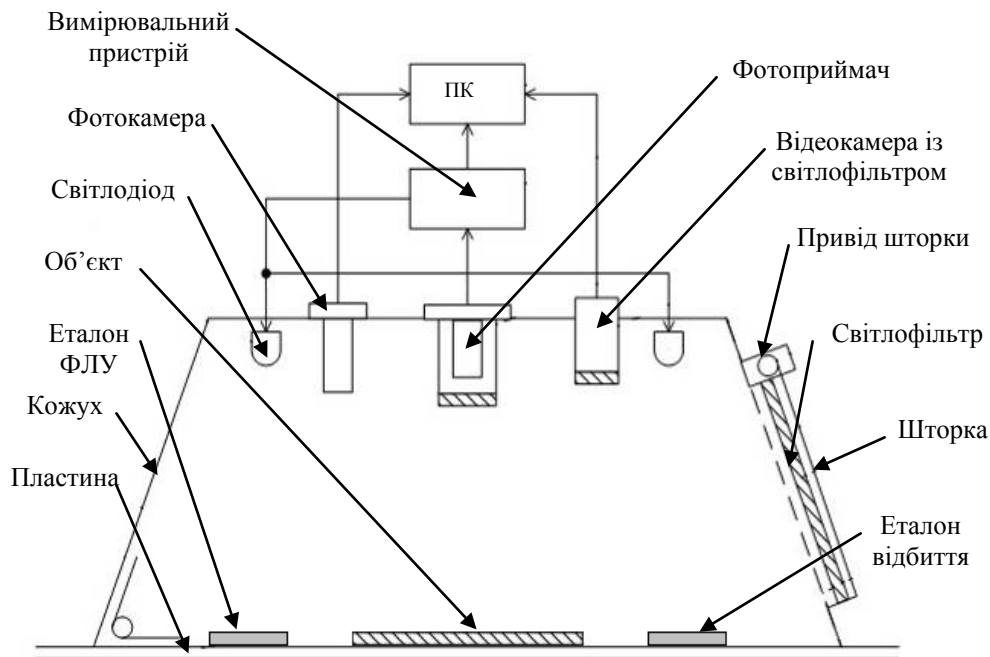


РИС. 1. Оптоелектронний пристрій

Пристрій дозволяє отримати цифрове кольорове зображення листа рослини, виділити елементи зображення в окремих зонах спектра для будь-якого його фрагмента. Цифрова чорно-біла відеокамера дозволяє отримати флуоресцентні зображення того самого листа. Ряд послідовних флуоресцентних зображень отриманих відеокамерою (швидкість 25 кадрів/с) за час експозиції дозволяє отримати дані для побудови кривої ІФХ з будь-яких фрагментів листа, в тому числі з плям уражень, та визначити площу уражень.

Одночасне отримання кольорового та флуоресцентного зображення листа у цифровій формі дозволяє здійснити сумісну обробку структурних показників за спектрами відбиття та функціональних показників згідно кривої ІФХ. Це значно підвищує достовірність оцінки стану рослин.

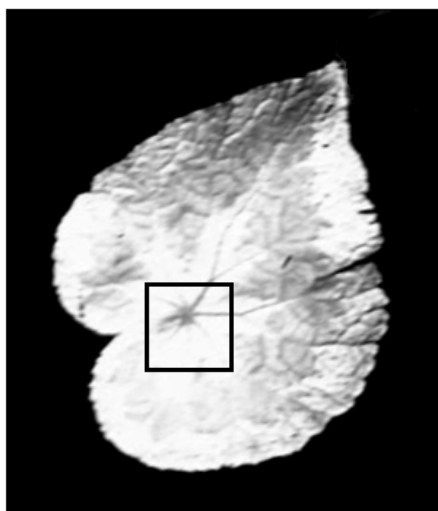
До особливостей пристрою слід віднести можливість його роботи в польових умовах при сонячному опроміненні. Для отримання флуоресцентного зображення листа рослини необхідне інтенсивне опромінення з інтенсивністю $10\text{--}120 \text{ Вт/м}^2$ в діапазоні довжини хвиль $400\text{--}500 \text{ нм}$. Таке опромінення забезпечують потужні суперяскраві сині світлодіоди (довжини хвилі 470 нм), наприклад, RL81 – CB744D – PU 140.

Для кількісної оцінки сигналів флуоресценції використовують еталон флуоресценції, у вигляді скляного світлофільтра ОС-4 розміром 10x10x1,5 мм, який при опроміненні синім світлом флуоресцює в червоній області. Такий еталон має стабільний квантовий вихід 0,65 %, використовується для калібровки і автокалібровки флуорометрів.

Для кількісної оцінки спектрального відбиття та поглинання зеленого листа рослини в діапазоні ФАР використовують чорно-білий еталон, в якому біле поле відбиває, а чорне – поглинає світло. Це дозволяє визначити інтенсивність відбитого від листа рослини падаючого світла. Використана відеокамера SUN KWANG SK1004 має 510x492 пікселей при роздільній здатності 400 телевізійних ліній і чутливості 0,1 люкс, та фотокамера Samsung Power Shot A450.

При визначенні інтегральних значень флуоресценції з усієї площі листа використовують окремий фотоприймач із світлофільтром який підключений до комп'ютера через вимірювальний блок. При необхідності визначення флуоресценції і реєстрації кривої ІФХ фрагмента листа на нього накладають трафарет із чорного паперу з вирізами для опромінення і прийому сигналу флуоресценції.

За допомогою оптоелектронного пристрою отримані флуоресцентне і кольорове зображення листа (рис. 2), причому з фрагмента флуоресцентного зображення листа побудована крива ІФХ (рис. 3). Це дає змогу розширити перелік функціональних ознак, які можна використати для визначення стану рослин при впливах різних чинників.



Флуоресцентне



Кольорове

РИС. 2. Зображення листа рослини

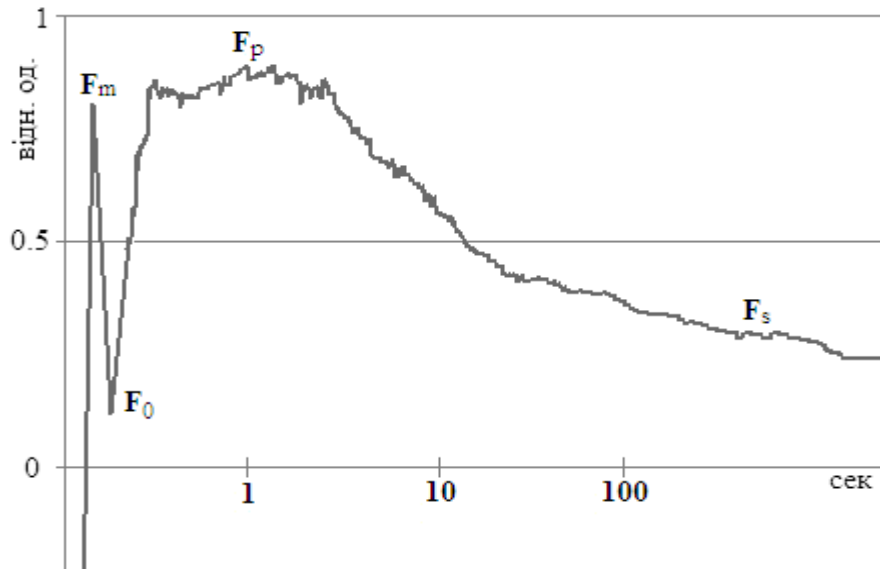


РИС. 3. Крива ІФХ ділянки листа рослини

Як приклад сумісного використання спектрозональних та індукційно-флуоресцентних знімків запропоновано спосіб визначення інтенсивності фіксації CO_2 , тобто інтенсивності фотосинтезу. Із фотознімка визначають освітленість одиниці площі еталона відбиття в синій області спектра I_e та такої ж площі листа рослини I_l . Приймаючи коефіцієнт відбиття еталона за 1 визначимо поглинуте листом світло I_L як :

$$I_L = I_e - I_l.$$

Із флуоресцентних знімків листа з того самого одиничного фрагмента за показниками кривої ІФХ визначаємо параметр Genty, F_{PSII} [2, 5], який визначає квантовий вихід фотохімії фотосистеми 2:

$$F_{PSII} = (F_m' - F_s) / F_m',$$

де F_m' – максимальна та F_s – стаціонарна флуоресценції після світлової адаптації.

Інтенсивність фіксації CO_2 визначаємо за формулою [2, 5]

$$A = F_{PSII} \cdot I_L / \alpha,$$

де α – константа, що дорівнює 0,8 і означає відношення квантових виходів фотохімії F_{PSII} та фіксації CO_2 , F_{CO_2} .

Так на основі використання показників ІФХ були створені методики діагностування бактеріозу рослин [7], визначення дефіциту вологи в листях [6] тощо. Зазначені та інші подібні методики складають методичне забезпечення засобів визначення стану рослин.

До метрологічного забезпечення входить використання еталонів для калібровки та автокалібровки приладу. Врахування поправок калібровки здійснюється програмно.

Областями застосування засобів визначення стану рослин можуть бути рослинництво сільського господарства, особливо при вирощуванні культур за інтенсивними технологіями з використанням зрошення, добрив, БАДів; засобів захисту рослин; в садівництві, виноградарстві, при вирощуванні декоративних рослин та екологічному моніторингу.

Висновки. Перспективним слід вважати сумісне використання спектрозональних та індукційно-флуоресцентних показників для оцінювання стану рослин за структурними та функціональними ознаками. Запропонований оптоелектронний пристрій дозволяє одночасно визначати структурні і функціональні показники з одних і тих же фрагментів рослини. Сумісне використання структурних та функціональних показників в оптоелектронному пристрої дозволяє суттєво збільшити достовірність визначень стану рослин.

1. www.roidostim.de
2. Корнеев Д.Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла. – Киев: Альтерпрес, 2002. – 220 с.
3. Romanov V., Fedak V., Galelyuka I., Sarakhan Ye., Skrypyk O. Portable Fluorometer for Express-Diagnostics of Photosynthesis: Principles of Operation and Results of Experimental Researches // Proceeding of the 4th IEEE Workshop on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications", IDAACS'2007. – Dortmund, Germany. – 2007, September 6–8. – P. 570–573.
4. Пат. України на корисну модель № 40787 Оптоелектронний пристрій / І.Б. Галелюка, О.В. Барбокар, О.І. Китаєв, П.С. Клочан, В.О. Романов, В.С. Федак. – Опубл. 27.04.2009, бюл. № 8.
5. Edwards G.E., Baker N.R. Can CO₂ assimilation in maize leaves be predicted accurately from chlorophyll fluorescence analysis? // Photosynth. Res. – 1993. – Vol. 37, N 2. – P. 89–102.
6. Пат. України на винахід № 82714. Спосіб ідентифікації бактеріозу рослин / О.І. Китаєв, Я.І. Мовчан, Ю.С. Колесник, В.С. Федак. – Опубл. 12.05.2008, бюл. № 9.
7. Пат. України на винахід № 85524. Спосіб визначення водного дефіциту листя рослин / О.І. Китаєв, Ю.Ю. Андрусик, П.С. Клочан, І.В. Ковалевський, Ю.С. Колесник, О.П. Лушпиган, В.О. Романов, В.А. Скрыга, Т.В. Бедненко, В.С. Федак. – Опубл. 26.01.2009, бюл. № 2.

Отримано 06.08.2009