

УДК 631.521.54:15.849.15

ОПТИЧНИЙ ПРИСТРІЙ ДОСЛІДЖЕННЯ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ РОСЛИННИХ МІКРОСТРУКТУР

Никифорова Л.Є., д.т.н.,

Лобода О.І., інженер,

Богадирьов Ю.О., інженер*,

Заєць Д.Г., інженер

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-23-41

Анотація - розглянуто питання використання оптичних методів кількісного оцінювання враженості рослин, за ступенем когерентності світлорозсіювання, на ранній стадії вирощування. В якості джерела когерентного випромінювання використовується лазер, а в якості аналізуючого приладу - комп'ютер.

Ключові слова - комп'ютер, напівпровідниковий лазер, мікроструктура, ПЗС матриця.

Постановка проблеми. Одним з завдань в агробіології є адекватна діагностика функціонального стану рослин – оптимізація технології вирощування, відбір стійких генотипів, оцінювання і прогнозування екологічної зміни [1]. Найбільший інтерес являє не руйнуючі оптичні методи, які ґрунтуються на використанні властивостей лазерного випромінювання. Лазерний промінь, завдяки високій спектральній яскравості, направленості, монохроматичності, поляризації, просторовій та часовій когерентності, є дуже зручним інструментом для створення багатофункціональних вимірювальних приладів.

Аналіз останніх досліджень. Одним з напрямків сучасної оптики, що бурхливо розвивається, є біооптика, зокрема, оптика рослинних середовищ [1, 2]. Інтерес до даного напрямку пов'язаний як з можливістю одержання цілісної інформації про стан всієї біологічної системи по її оптичних характеристиках і кінетиці їхньої зміни, так і з можливістю застосування оптичних методів для дистанційного контролю, обліку й оптимізації виробництва сільськогосподарської продукції [3]. Найбільш широко застосовуються такі оптичні методи контролю стану рослин як: метод зворотнього розсіювання [1, 4], метод комбінаційного розсіювання [5], абсорбційний метод [6] і флуоресце-

нтний аналіз [7, 8]. Світова практика давно и успішно використовує лазерне випромінювання для дослідження стану рослин.

Формулювання мети статті. Проведення теоретичного обґрунтування використання лазерного випромінювання для визначення якості рослинної тканини та автоматизація розпізнавання отриманої інформації з використанням комп'ютерної техніки.

Основна частина. В основі приладу лежить принципово нова методологія, яка використовує високу статистичну впорядкованість лазерного випромінювання і оригінальна оптична схема поляризаційного інтерферометру, яка дозволить зафіксувати ступінь просторової когерентності розсіяного рослинною тканиною лазерного пучка. Кількісна оцінка мікроструктури об'єкта стає можливою завдяки, відомому у кореляційній оптиці, зв'язку статистичних властивостей когерентного випромінювання й просторової топології елементів середовища, що розсіює світло

$$\Gamma(s) = 1 - \frac{s}{a} + \frac{s}{a} \int_{-\infty}^{+\infty} \omega(h) \exp\left(\frac{i2\pi sh}{\lambda a}\right) dh,$$

де $\Gamma(s)$ - комплексний ступінь просторової когерентності;
 s - відношення ходів у поперечному перерізі зондувального пучка;
 a - ширина оптичних неоднорідностей;
 $\omega(h)$ - функція розподілу оптичних неоднорідностей по висоті h ;
 λ - довжина хвилі зондувального випромінювання.

Як видно із цього рівняння, ступінь когерентності розсіяного випромінювання визначається параметрами мікронеоднорідностей тканини й може служити кількісною мірою її структурної організації [8]. Можна також провадити аналіз і по зміни амплітудних параметрів лазерного випромінювання. Взаємодія з рослинною тканиною випромінювання втрачає частину своєї інтенсивності і може бути виражена в вигляді

$$I = \frac{I_0}{e^{N_{\Pi} C_{\Pi} l} e^{N_P C_P l}}$$

де I і I_0 - інтенсивність випромінювання до і після взаємодії з рослиною;

l - довжина оптичного шляху;

N_{Π} , C_{Π} - відповідно, концентрація і ефективний переріз поглинаючих частин рослини;

N_P , C_P - відповідно, концентрація і ефективний переріз розсіюючих частин рослини.

Інтенсивність випромінювання після взаємодії з рослинною тканиною має інформаційний характер та має добру кореляцію спектральних коефіцієнтів відбиття із змістом в них хлорофілу.

В якості джерела когерентного випромінювання обрано напівпровідниковий лазер, що генерує когерентне випромінювання з довжиною хвилі 650...660 нм. Для розпізнавання інформації достатньо потужності випромінювання - 0,5-5 мВт. Такі джерела найбільшою мірою відповідають вимогам сучасного приладобудування й дозволяють оцінити концентрацію хлорофілу в тканині по ступеню поглинання випромінювання.

Для практичної оцінки просторової когерентності й інтенсивності світлорозсіювання використовувалася експериментальна конструкція лазерного аналізатора мікроструктури (ЛАМ), що включає двохкоординатний стілець - держак об'єкту, систему лазерного зондування зразку, світлосильний інтерферометр зрушення, CCD-камеру, персональний комп'ютер, спеціалізовану програму для обробки інтерферограм. Оптична схема приладу оптимізована для виміру цілих листів або плодів.

На рис. 1 представлена функціональна схема приладу. Потік когерентного випромінювання від джерела 1, проходячи через поляроїд 2, одержує лінійну поляризацію. Далі він потрапляє в телескопічну систему 3, де відбувається формування його інтенсивності й фільтрація вищих просторових частот. Обмежуюча діафрагма 4 вирізує пучок заданого діаметра. Колімірований і вирівняний по інтенсивності зондувальний пучок падає на закріпленій у тримачі 5 досліджуваній об'єкт. Там він розсіюється на фазових неоднорідностях і частково губить свою статистичну впорядкованість, тобто змінює ступінь когерентності. Поряд із цим відбувається і його ослаблення за рахунок поглинання випромінювання пігментами тканини. [9]

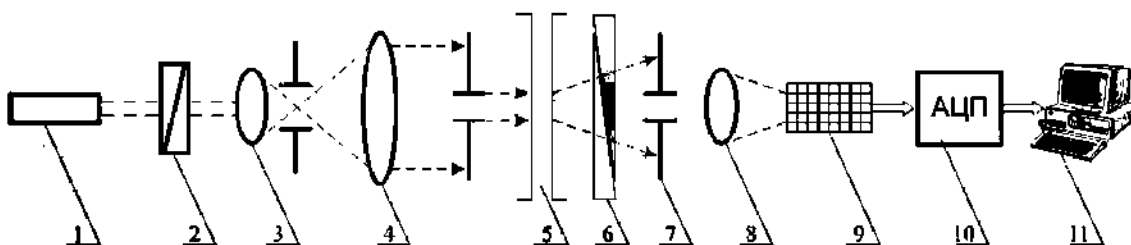


Рис. 1. Функціональна схема оптико-електронного пристрою:

1 - джерело когерентного випромінювання; 2 - поляроїд; 3 - телескопічна система з фур'є - фільтром; 4 - обмежуюча діафрагма; 5 - тримач рослинної тканини; 6 - світлосильний інтерферометр зсуву; 7 - циліндрна діафрагма; 8 - погоджувальна лінза; 9 - ПЗС - матриця; 10 - інтерфейс RS 485; 11 - ЕОМ.

Розсіяний потік світла, що несе інформацію про мікроструктуру об'єкта проектується на вхідну діафрагму інтерферометра 6. Після нього виникає характерна картина послідовних світлих і темних смуг - так звана інтерференційна картина, контрастність якої дорівнює ступеню просторової когерентності світла, що аналізується. Інтерференційна картина, яка пройшла крізь обмежувальну діафрагму 7, фокусується узгоджувальною лінзою 8 на вхідну зіницю фотоприймача 9. В якості фотоприймача використовується аналогова чорно-біла ПЗС - матриця. Відеосигнал камери через карту вводу подається в ЕОМ для наступної обробки за допомогою спеціалізованої комп'ютерної програми.

Програмне забезпечення здійснює керування частотою вибірки відеоряду, тобто швидкістю вимірів, обробку даних і побудову графіків зміни когерентності в режимі реального часу. Результати вимірів зберігаються в графічній і в табличній формі. Для зменшення впливу паразитної спекл-картини й нелінійності фотоприймача розроблений оригінальний метод фільтрації спекл-шуму й розрахунку контрасту інтерференційної картини з використанням алгоритму відносного калібрування профілю яскравості відеосигналу [10]. Це дозволяє проводити вимірювання зразків різної оптичної щільності й знизити вимоги до динамічного діапазону виміру інтенсивності. На рис. 2 наведено зображення інтерференційної картини світлорозсіювання функціонально здорового листа огірка.

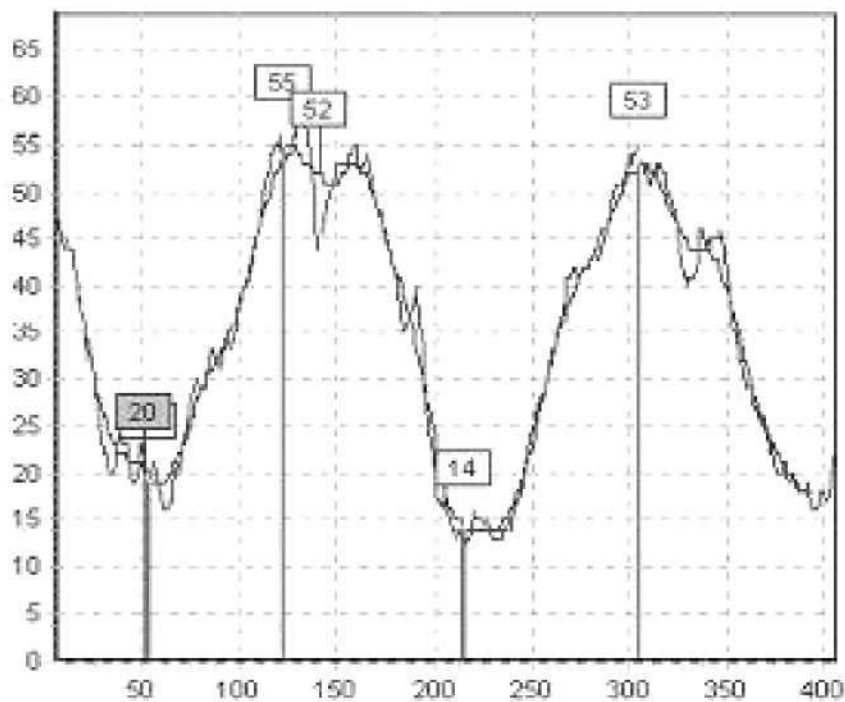


Рис. 2. Інтерференційна картина світлорозсіювання функціонально здорового листа огірка.

Використання нового оптичного критерію - ступеня когерентності світлорозсіювання рослинної тканини, виявилось досить перспективним й універсальним прийомом для вирішення всіляких проблем рослинництва. Встановлено, що більшій функціональній активності й життєздатності рослинного організму відповідають більш високі рівні власної когерентності й наведеної когерентності (відношення когерентності до інтенсивності світлорозсіювання). Дія несприятливих факторів: вірусні інфекції, дефіцит макро- і мікроелементного харчування, високі й низькі температури, старіння, механічні й хімічні ушкодження, забруднення середовища і т. ін., навпаки, проявляється в зниженні цих показників. Новий підхід дозволяє вирішити проблему автоматичного розпізнавання механічних ушкоджень поверхневої тканини плодів (свіжі здирки й проколи шкірочки), поділу генотипів рослин по ступеню скоростиглості, виявлення потреби рослин у мікроелементному харчуванні.

Потенційні можливості цього методу і прибору можна розглянути на прикладі дослідження функціонального стану рослини огірка під дією грибної інфекції і хімічних засобів захисту. Десятидобову рослину огірка сорту "Конкурент", обробляли водною суспензією спор збудника мучнистої роси *Erysiphe cichoracearum* і *Sphaerotheca fuliginosa* (варіант "Патоген"); 1% розчином фунгіциду "Saprol" (варіант "Фунгіцид"); сумішшю розчинів фунгіциду і суспензії спор (варіант "Пат+Фунг"). Контрольні рослини сприскувалися водою. Через 24 години після обробки і потім кожнодобово, на листах одних і тих же рослин, на протязі наступних 5-ти діб вегетації, проводили вимір когерентності світлорозсіювання за допомогою приладу по показникам хлорофіл - флуориметру РАМ-2000 і фотосинтетичною активністю. Для аналізу використовувались морфологічно однакові листи із здорових і вражених рослин, при цьому в кожному варіанті було не менш 25-ти повторів.

Цей спосіб оцінки функціонального стану за значенням ступеня когерентності лазерного випромінювання дозволяє виявити негативні деградуючі процеси вже на ранньому етапі патогенезу (через 20 годин після зараження). Пізніше різниця між контрольними й інфікованими рослинами тільки підсилюється (рис. 3).

Особливим є факт реєстрації, за ступенем когерентності світлорозсіювання, ослаблення функціонального стану неуражених рослин, що оброблено фунгіцидом. Це дозволяє використати новий метод і прилад для оцінки екологічної безпеки хімічних препаратів.

Висновки. Запропонований комп'ютеризований прилад дозволяє:

- провадити комплексні дослідження амплітудно-фазових параметрів світлорозсіювання, що відображає мікроструктурний стан рослинної тканини;

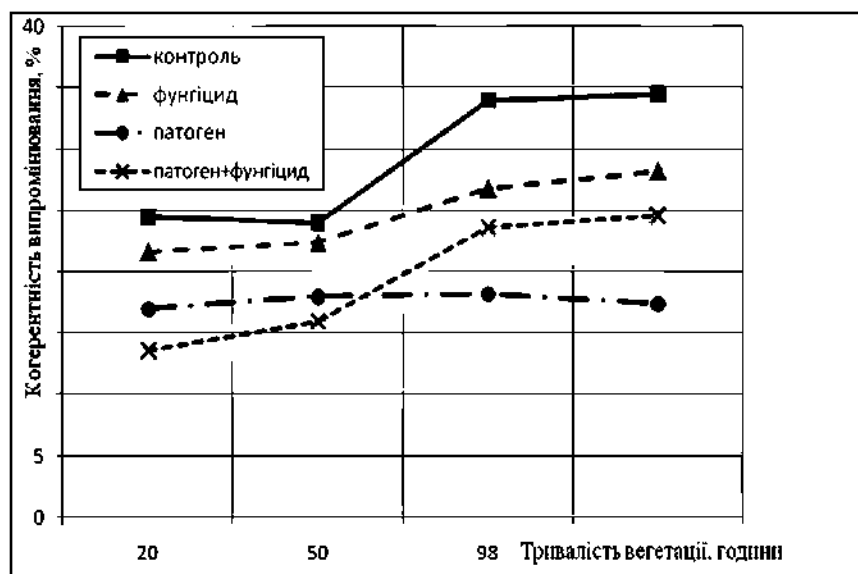


Рис. 3. Оцінювання функціонального стану листа огірка в процесі вегетації по якості світлорозсіювання.

- визначати динаміку зміни листа рослини в процесі вегетації;
- одержувати нову інформацію про адаптивний потенціал і стійкість рослин;
- виявляти відхилення функціонального стану від норми на самих ранніх етапах розвитку патології.

Література

1. Non-destructive optical detection of leaf senescence and fruit ripening [Текст] / M.N. Merzlyak, A.A. Gitelson, O.B. Chivkunova, V.Y. Rakitin // *Physiol Plant*. - 1999. - № 106. - P. 135-141.
2. Laser-induced chlorophyll fluorescence spectra of mung plants growing under nickel stress / R. Gopal, K. B. Mishra, M. Zeeshan, S. M. Prasad, M. M. Joshi // *Current Science*. - 2002. - V. 83. - № 7. - P. 880-884.
3. Investigation of laser-induced fluorescence of several leaves for application to lidar vegetation monitoring / Y. Saito, M. Kanoh, K. Hatake, T.D. Kawahara, A. Nomura // *Appl. Opt.* - 1998. - V. 37. - P. 431-437.
4. Козодеров В.В. Особенности реализации моделей оценки фитомассы растительности по наблюдениям из космоса / В.В. Козодеров // *Исследование Земли из космоса*. - 2006. - № 2. - P. 79-88.
5. Керу П.П. Применение спектроскопии КР и РКР в биохимии / П.П. Керу. - М.: Мир, 1985. - 128 с.
6. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat / G. Arsar, M. Fuchs, E.T. Kanemasu, J.L. Hatfield // *Agron. J.* - 1984. - № 76. - P. 211-220.
7. Шульгина Л.А. Индуцированная лазером флуоресценция древесной растительности / Л.А. Шульгина, Н.Л. Фатеева // *Известия*

высших учебных заведений. Физика (Приложение). - 2005. - № 6. - 151-152.

8. *Жученко А.А.* Адаптивное растениеводство / *А.А. Жученко* – Кишинев : Штиинца, 1990. - 432 с.

9. *Сергиенко А.Б.* Цифровая обработка сигналов / *А.Б. Сергиенко* - СПб. : Питер, 2002. - 608 с.

10. *Гонсалес Р.* Цифровая обработка изображений в среде Matlab / *Р. Гонсалес, Р. Вуде, С. Элдинс.* - М. : Техносфера, 2006. - 616 с.

ОПТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МИКРОСТРУКТУР

Никифорова Л.Е., Лобода А.И., Богатырев Ю.О., Заец Д.Г.

Аннотация - рассмотрены вопросы использования оптических методов количественного оценивания пораженности растений, по степени когерентности светорассеяния, на ранней стадии выращивания. В качестве источника когерентного излучения используется лазер, а в качестве анализирующего прибора компьютер.

THE OPTICAL DEVICE OF RESEARCH OF QUANTITATIVE ESTIMATION OF THE VEGETATIVE MICROSTRUCTURES

L. Nikiforova, A. Loboda, Y. Bogatyrev, D. Zaets

Summary

Concerns the use of optical methods for the quantitative estimation of diseased plants in the degree of coherence of light scattering in the early stages of growth. As a source of coherent radiation using a laser, as well as analyzing the instrument computer.