

4. Татур Т. А. Основные теории электромагнитного поля : справ. пособие / Т. А. Татур. – М. : Высшая школа, 1989. – 271 с.

### **ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ЭКВИПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ИНДУКТОРА С ПЕРЕМЕННЫМ РАДИУСОМ НАВИТКИ НА КАРКАСЕ УСЕЧЕННОГО КОНУСА**

**А. Г. Кушниренко**

*Аннотация. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований имитационного моделирования напряженности магнитного поля рабочей зоны технологического узла установки, который имеет переменный радиус навитки, выполненной на каркасе срезанного конуса. Проведена проверка на адекватность теоретической модели.*

*Ключевые слова: предпосевная обработка семян сельскохозяйственных культур, электромагнитное поле, модели картин электромагнитного поля, рабочая зона индуктора.*

### **A SIMULATION MODEL EQUIPOTENTIAL SURFACE TENSION INDUCTOR MAGNETIC FIELD WITH VARIABLE RADIUS NAVYTKY**

**A. Kushnirenko**

*Annotation. The results of theoretical and experimental studies and simulation of the magnetic field of the working area of technological node installation that has a variable radius navytky. Test the adequacy of the theoretical model with experimental.*

*Key words: pre-cultivation of seed crops, electromagnetic field, electromagnetic field model pictures, work area inductor.*

УДК 535.37

### **ФЛУОРЕСЦЕНТНА СПЕКТРОСКОПІЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР**

**Ю. І. Посудін, доктор біологічних наук**

**О. О. Годлевська, кандидат фізико-математичних наук**

**І. А. Залоїло, кандидат біологічних наук**

**Я. В. Кожем'яко, асистент**

**e-mail: posudin@ukr.net**

*Анотація. Розглянуто можливість застосування методу лазерної спектрофлуориметрії сільськогосподарських, зокрема злакових, культур та кукурудзи. Показано, що цей метод є перспективним для діагностики вікових і видових відмін злакових культур та кукурудзи,*

---

© Ю. І. Посудін, О. О. Годлевська,  
І. А. Залоїло, Я. В. Кожем'яко, 2015

причому найсуттєвіші зміни флуоресцентних індексів виявляються на різних фазах розвитку: паросток, жовта стеблина, зелена стеблина.

Метод реєстрації індукції флуоресценції хлорофілу уможливило дослідження впливу обробки ґрунту, внесення агрохімічних препаратів та добрив, високих інтенсивностей фотосинтетично активного та ультрафіолетового випромінювання, зневоднення, температури на флуоресценцію хлорофілу адаптованих попередньо до темряви листків сільськогосподарських культур – сої, ріпаку, салату, квасолі кущової.

**Ключові слова:** флуоресценція, спектрофлуориметрія, індукція флуоресценції, сільськогосподарські культури.

Процес перетворення світлової енергії Сонця в хімічну енергію рослинних тканин лежить в основі фотосинтезу; він складається з таких етапів, як поглинання світла молекулою пігменту, перенесення енергії збудження й протікання хімічних реакцій у фотосистемі *ФСII*. Дезбудження поглинутої світлової енергії супроводжується виділенням тепла і випромінюванням світла як флуоресценції хлорофілу.

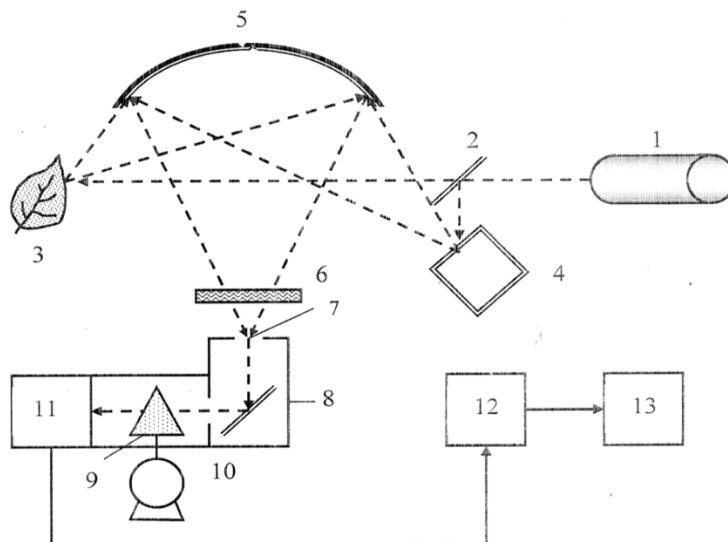
Флуоресцентна спектроскопія або флуориметрія – це різновид електромагнітної спектроскопії, який базується на аналізі флуоресценції зразку. Реєстрація залежності інтенсивності флуоресценції зразку від довжини хвилі випромінювання флуоресценції є основою спектрофлуориметрії. Якщо як джерело збудження флуоресценції використовують лазер, йдеться про лазерну спектрофлуориметрію [1].

Залежність інтенсивності флуоресценції від часу після початку освітлення називається кривою індукції флуоресценції хлорофілу, або індукційною кривою. Реєстрація індукції флуоресценції дає можливість спостерігати часову кінетику інтенсивності флуоресценції попередньо адаптованого до темноти зеленого листка. При освітленні зеленого листка, що знаходився попередньо у темряві, в останньому флуоресценція хлорофілу набуває індукційної кінетики – повільного спадання флуоресценції від максимального рівня  $f_m$  до стаціонарного рівня  $f_s$  протягом 3–5 хвилин, відомої як “ефект Каутського” [2].

**Матеріали та методика досліджень.** В експериментах було використано етіоловані паростки та жовті стеблини злакових культур (м'які й тверді види, озимі та ярові сорти) – пшениці, жита, ячменю та гібридів із колекції Національного університету біоресурсів і природокористування України, а також сільськогосподарські культури (соя, ріпак, салат, квасоля кущова), що знаходяться під впливом абіотичних та антропогенних факторів, і ґрунт із добривами, на якому вони вирощуються.

Лазерний спектрофлуориметр. Схему лазерного спектрофлуориметра наведено на рис. 1.

Як джерело збудження флуоресценції використовують азотний лазер 1 з параметрами: довжина хвилі випромінювання 337 нм; частота повторення імпульсів 50 Гц; середня потужність випромінювання 3 мВт; тривалість імпульсу 10 нс; розбіжність лазерного променя  $3 \cdot 10^{-3}$  рад.



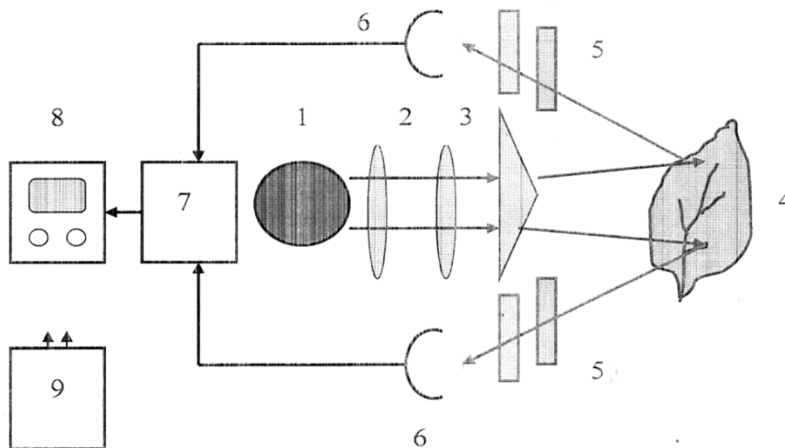
**Рис. 1. Лазерний спектрофлуориметр**

Випромінювання лазера спрямовують на напівпрозору скляну пластину 2 на зразок 3 (листок) або флуоресцентний стандарт 3 (розчин барвника). Зразок або квітку зі стандартом розміщують під кутом  $45^{\circ}$  до лазерного променя з тим, щоб запобігти небажаному поглинанню лазерного випромінювання зразком або стандартом відповідно.

Було використано як спектральні критерії стану сільськогосподарських культур такі флуоресцентні індекси:  $F_1 = 430/460$ ,  $F_2 = 460/530$ ,  $F_3 = 690/735$ ,  $F_4 = 460/690$ ,  $F_5 = 430/690$ ,  $F_6 = 530/690$ ,  $F_7 = 430/735$ ,  $F_8 = 460/735$ ,  $F_9 = 530/735$ ,  $F_{10} = 430/530$ .

Лазерна спектрофлуориметрія інтактного листка дає можливість аналізувати залежність форми та інтенсивності спектрів випромінювання при збудженні флуоресценції хлорофілу. Недоліком цього методу є довготривалість процесу запису спектра, під час якого в листку можуть відбуватися певні зміни, викликані індукцією флуоресценції хлорофілу.

Позбавитися цих недоліків дає змогу метод реєстрації індукції флуоресценції. У цьому випадку дослідження проводили за допомогою портативного флуориметра. Принцип роботи флуориметра пояснюється на рис. 2.



**Рис. 2. Схема портативного флуориметра**

Випромінювання світлового діода 1 подається через коліматор 2 та призму 3, де він розщеплюється на два променя, що збуджують флуоресценцію зразка – зеленого листка 4. Випромінювання флуоресценції проходить через інтерференційні фільтри 5, які пропускають випромінювання з довжиною хвилі 690 нм та 740 нм відповідно, після чого обидва променя флуоресценції реєструються фотоприймачами 6. Електричні сигнали з виходів фотоприймачів потрапляють на вхід підсилювача 7 та аналізуються системою реєстрації 8. Джерело збуджуючого випромінювання 1, фотоприймачі 6, підсилювач 7 та система реєстрації 8 пов'язані з джерелом автономного живлення 9.

Функції флуоресцентних індексів виконують такі флуоресцентні параметри, як індекс життєздатності  $Rfd = f_d / f_s = (f_m - f_s) / f_s$ , який вимірюють на двох довжинах хвиль:  $Rfd(690)$  і  $Rfd(735)$ ,

де  $f_m$  – максимальна флуоресценція;

$f_s$  – стаціонарна флуоресценція;

$f_d = f_m - f_s$  – зменшення флуоресценції [3, 4], а також індекс адаптації до стресів  $A_p = 1 - [Rfd(735) + 1] / [Rfd(690) + 1]$ .

**Результати досліджень.** Використання методу лазерної спектрофлуориметрії уможливило дослідження вікових та видових відмін злакових культур та кукурудзи.

Застосуванню методу лазерної спектрофлуориметрії сільськогосподарських рослин присвячені роботи [3–7].

Використання методу реєстрації індукції флуоресценції дало змогу дослідити вплив обробітку ґрунту, внесення агрохімічних препаратів та добрив, високих інтенсивностей фотосинтетично активного та ультрафіолетового випромінювання, зневоднення, температури на флуоресценцію хлорофілу адаптованих попередньо до темряви листків сільськогосподарських культур – сої, ріпаку, салату, квасолі кущової [8–16]. Показано, що величини спектральних індексів чутливі до змін стану фотосинтетичного апарату в результаті дії несприятливих факторів або фізіологічно активних речовин, наприклад, гербіцидів.

## Висновки

Використання методу лазерної спектрофлуориметрії для діагностики вікових і видових відмін злакових культур та кукурудзи показало, що найсуттєвіші зміни флуоресцентних характеристик виявляються на різних фазах розвитку: паросток, жовта стеблина, зелена стеблина. Залежність флуоресцентних індексів від роду та сорту не знайдена. Те саме можна сказати щодо генетичних форм.

На початкових стадіях розвитку для етильованих паростків знайдено відміни для різних культур – пшеничних та кукурудзи. В останньому випадку, ця різниця зумовлена сповільненим процесом накопичення протохлорофіліду в паростках.

Техніка реєстрації індукції флуоресценції хлорофілу дає можливість реєструвати й аналізувати вплив різноманітних природних і антропогенних стресів на рослини.

У цілому, методи флуоресцентної спектроскопії дають змогу проводити швидкий, точний та неруйнівний контроль стану рослин через вимірювання *in vivo* параметрів флуоресценції хлорофілу зеленого листка.

### Список літератури

1. Посудін Ю. І. Біофізика рослин / Ю. І. Посудін. – Вінниця : Нова книга, 2004. – 252 с.
2. Kautsky H. Neue Versuche zur Kohlenstoffassimilation/ Kautsky H. and Hirsch A. *Naturwissenschaften*, **19**: 964 (1931).
3. Посудін Ю. І. Оптические методы исследования фотобиологических реакций высших и низших растений : дисс. ... д-ра биол. наук : 06.01.03 / Посудін Ю. І. ; Украинская сельскохозяйственная академия. – К., 1992. – 433 с.
4. Posudin Yuri I. Laser spectrofluorometry of agronomic plants *in vivo* (*SPIE Proceedings Paper*) 1997. [http://spie.org/x648.html?product\\_id=274735](http://spie.org/x648.html?product_id=274735)
5. Посудін Ю. І. Флуориметр для аналізу сільськогосподарських рослин в стресових умовах / Ю. І. Посудін, Я. В. Кожем'яко // Науковий вісник НАУ, 2002. – Вип. 58. – С. 39–41.
6. Посудін Ю. І. Лазерна спектрофлуориметрія *in vivo* злакових культур / Ю. І. Посудін, Я. В. Кожем'яко // Науковий вісник НУБіП України. – 2009. – № 140. – С. 60–79.
7. Кожем'яко Я. В. Використання лазерної спектрофлуориметрії для оцінки росту і розвитку овочевих культур / Я. В. Кожем'яко, Ю. І. Посудін // Науковий вісник НУБіП України. – 2009. – № 145. – С. 51–59.
8. Посудін Ю. І. Флуоресцентний аналіз рослин протягом розвитку та в стресових умовах / Ю. І. Посудін // Науковий вісник НАУ. – 2002. – Вип. 58. – С. 42–48.
9. Портативний флуориметр для аналізу стану сільськогосподарських рослин / [Мельничук М. Д., Посудін Ю. І., Кожем'яко Я. В., Залоїло І. А., Годлевська О. О.] / Вчені НАУ – виробництву. Бюлетень завершених наукових розробок. – 2007. – № 1. – С. 27.
10. Годлевська О. О. Флуоресцентний аналіз деяких овочевих культур протягом розвитку в стресових умовах / О. О. Годлевська, Ю. І. Посудін // Науковий вісник НАУ, 2008. – № 121. – С. 53–58.
11. Флуоресцентний аналіз рослин протягом розвитку в стресових умовах / [Мельничук М. Д., Посудін Ю. І., Кожем'яко Я. В. та ін.] // Агробіологія. Біла Церква, 2009. – Вип. 1 (64). – С.141–149.
12. Application of portable fluorometer for estimation of plant tolerance to abiotic factors/ [Posudin Yu.I., Godlevska O.O., Zaloilo I.A., Kozhem'yako Ya.V.] *Int. Agrophysics*, 2010, Vol. 24, No. 4 . – P. 363–368.
13. Застосування портативного флуорометра для оцінювання толерантності рослин до біотичних факторів / О. О. Годлевська, І. А. Залоїло, Я. В. Кожем'яко, Ю. І. Посудін // Науковий вісник НУБіП України. – 2011. – Вип. 161. – С. 217–225.
14. Посудін Ю. І. Флуоресцентний аналіз салату (*Lactuca sativa* L.) під впливом зневоднення / Ю. І. Посудін, О. О. Годлевська // Науковий вісник НУБіП України. 2011. – Вип. 166. – С. 205–212.
15. Posudin Yuriy. Portable fluorometer for fluorescence analysis of agronomic plants. *International Scientific Electronic*/ [Posudin Yuriy, Godlevska J., Zaloilo I. ] // *Earth Bioresources and Life Quality*. – No 3. – 2013.
16. Посудін Ю. І. Вплив зневоднення на показники індукції флуоресценції хлорофілу у листках салату (*lactuca sativa* L.) [ Ю. І. Посудін, О. О. Годлевська,

## **ФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

**Ю. И. Посудин, А. А. Годлевская, И. А. Залоило, Я. В. Кожемяко**

**Аннотация.** Рассмотрена возможность применения метода лазерной спектрофлуориметрии сельскохозяйственных и, в частности, злаковых культур. Показано, что этот метод является перспективным для диагностики возрастных и видовых отличий злаковых культур и кукурузы, причем существенные изменения флуоресцентных индексов проявляются на разных фазах развития: росток, желтый стебель, зеленый стебель.

Метод регистрации индукции флуоресценции хлорофилла дает возможность исследовать влияние обработки почвы, внесения агрохимических препаратов и удобрений, высоких интенсивностей фотосинтетически активного и ультрафиолетового излучения, обезвоживания, температуры на флуоресценцию хлорофилла адаптированных предварительно к темноте листьев сельскохозяйственных культур: сои, рапса, салата, фасоли кустовой.

**Ключевые слова:** флуоресценция, спектрофлуориметрия, индукция флуоресценции, сельскохозяйственные культуры.

## **FLUORESCENCE SPECTROSCOPY OF AGRICULTURAL CROPS**

**Y. Posudin, O. Godlevska, I. Zaloyilo, Y. Kozhemiako**

**Annotation.** The possibility of applying the method of laser spectrofluorometry of agricultural crops, particularly, cereals is discussed. It is shown that this method is promising for diagnosis of age and specific differences of cereals and maize. The most substantial changes of fluorescent indices appear at various stages of development: sprout, yellow stems, green stem.

The method of registration of chlorophyll fluorescence induction provides an opportunity to explore the impact of tillage, agrochemical fertilizers, effect of high intensity of photosynthetically active and ultraviolet radiation, dehydration, temperature on chlorophyll fluorescence of leaves previously adapted to the darkness – soybean, rapeseed, lettuce, beans bush.

**Key words:** fluorescence, spectrofluorometry, chlorophyll fluorescence induction, crops.