

*и заданного компакта. На основании принципа максимума Понтрягина и итерационного метода градиентного спуска осуществлено численное решение оптимизационных задач чувствительности.*

**Ключевые слова:** *параметры, оптимизация, чувствительность, функции чувствительности.*

## UNDIFFERENTIATED PROBLEMS OF OPTIMIZATION THE SENSITIVITY OF DYNAMICAL SYSTEMS

*L. Pantalienko*

**Annotation.** *The algorithms to minimize the sensitivity of dynamical systems to changing parameters. Considered statement of minimax problems for fixed initial conditions and given the compact. On the basis of the Pontryagin maximum principle and iterative method of gradient descent implemented numerical solution of optimization problems of sensitivity.*

**Key words:** *parameters, optimization, sensitivity, sensitivity functions.*

УДК 535.37

## ЛАЗЕРНА СПЕКТРОФЛУОРИМЕТРІЯ ЗЛАКОВИХ КУЛЬТУР *IN VIVO*

*Ю. І. Посудін, доктор біологічних наук*

*Я. В. Кожем'яко, асистент*

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

*І. А. Залоїло, кандидат біологічних наук*

*e-mail: posudin@ukr.net*

**Анотація.** *Запропоновано можливі області застосування методу лазерної спектрофлуориметрії злакових культур. Показано, що даний підхід є перспективним для диференціювання вікових і видових відмінностей злакових культур на різних фазах розвитку. Залежність флуоресцентних індексів від роду та сорту і генетичних форм не знайдена.*

**Ключові слова:** *флуоресценція, спектрофлуориметрія, злакові культури.*

Розробка засобів та методів швидкого точного аналізу сільськогосподарських культур впродовж розвитку та під впливом стресових факторів є одним з найбільш актуальних питань сучасного рослинництва. Кореляція кількісних флуоресцентних параметрів хлорофілу із загальним процесом фотосинтезу є доволі складною для прогнозування: випромінювання флуоресценції хлорофілу а може становити 2–5 % від поглинутої енергії. Даний показник значною мірою залежить не лише від інтенсивності та

довжини хвилі збуджуючого випромінювання, а й від типу хлоропласта, віку та фізіологічного стану рослини, а також – від можливих стресових умов різної природи [1, 2]. Вплив типових стресів на фотосинтетичну активність рослини та її флуоресцентні параметри висвітлено в сучасній літературі [3, 4]. Основним принципам флуоресцентної спектроскопії та флуоресцентного аналізу рослин присвячені роботи [5, 6]. Метод спектрофлуориметрії рослинних об'єктів детально описаний у роботах [7, 8].

**Мета досліджень** – вивчення доцільності застосування лазерної спектрофлуориметрії для визначення вікових і спадкових особливостей окремих злакових рослин.

**Матеріали та методика досліджень.** В експериментах було використано етильовані 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. Як джерело збудження флуоресценції застосовували азотний лазер.

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

### 1. Значення флуоресцентних індексів етильованих паростків і стебел злакових культур

Злакова культура	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
П. оз. „Поліська-70”	0,9	2,0	-	7,2	6,4	3,6	-	-	-	1,8
П. оз. „Киянка”	0,9	1,8	1,4	6,7	5,9	3,8	8,6	9,6	5,5	1,6
П. я. „Вектор”	0,9	2,0	2,9	4,1	3,6	2,0	10,3	11,7	5,8	1,8
П. оз. „Корунд”	0,9	2,5	4,3	4,4	3,8	1,8	16,5	19,1	7,8	2,1
Ж. оз. „Житомирське”	0,9	2,4	3,6	2,8	2,4	1,2	8,8	10,1	4,2	2,1
Ж. оз. „Белта”	0,9	2,3	2,2	5,3	4,7	2,2	10,5	11,7	5,0	2,1
Я. оз. „Крим”	0,9	2,0	2,0	3,4	3,0	1,7	5,9	6,7	3,3	1,8
Ячмінь ярий	0,9	2,3	2,2	4,0	3,8	1,8	8,3	8,8	3,8	2,2
Я. оз. „Барвінок”	1,0	2,8	3,0	7,0	6,7	2,5	20,4	21,4	7,6	2,7
Я. оз. „Міраж”	0,9	1,7	2,3	2,5	2,2	1,4	5,0	5,6	3,3	1,5
К. „Колективний-101”	0,8	2,3	-	15,3	12,5	6,6	-	-	-	1,9
К. г. „Молдавський”	0,9	1,7	1,0	13,1	11,3	7,6	11,2	13,0	7,5	1,5
П. оз. „Білоцерківська47”р	0,9	1,8	2,8	3,4	3,0	1,9	8,5	9,6	5,5	1,5
П. оз. „Білоцерківська47”с.	0,8	1,5	1,4	2,0	1,6	1,3	2,2	2,7	1,8	1,3
П. оз. „Іванівська-60” с.	0,9	1,9	1,3	6,1	5,5	3,2	7,3	8,2	4,3	1,7
П. оз. „Миронівська808” п	0,8	1,5	2,4	2,3	1,7	1,5	4,2	5,4	3,5	1,2
Ж. оз. „Белта” (паросток)	0,9	2,3	2,2	5,3	4,7	2,2	10,5	11,7	5,0	2,1
Ж. оз. „Белта” (стебло)	0,9	2,1	-	2,1	2,0	1,0	-	-	-	2,0
П. я. „Харків-7” (стебло)	0,8	1,7	3,8	2,1	1,7	1,2	6,5	7,9	4,5	1,4
П. я. „Харків-7” (паросток)	0,9	2,3	3,0	4,8	4,1	2,0	12,2	14,2	6,1	2,0
П. я. „Харків-7” (опромін)	0,9	1,5	1,9	0,7	0,6	0,4	1,1	1,3	0,9	1,3
П. я. „Світлана”	0,8	2,0	3,7	3,3	2,8	1,7	10,3	12,5	6,2	1,7
П. я. „Світлана” (опромін)	0,9	1,9	4,0	0,4	0,3	0,2	1,4	1,6	0,9	1,6
П. я. „Діана”	0,8	1,9	13,0	1,9	1,6	1,0	20,5	24,5	12,6	1,6
П. я. „Діана” ( опромін)	0,8	1,6	4,3	0,6	0,4	0,4	2,0	2,7	1,7	1,2

*Примітка.* П. оз. – пшениця озима, П. я.– пшениця яра, Ж. оз. – жито озиме, Я. оз.– ячмінь озимий, Я. я. – ячмінь ярий, К. – кукурудза, К. г. – кукурудза гібрид.

**Результати досліджень.** Значення флуоресцентних індексів етильованих паростків і стебел злакових культур наведено в табл. 1.

Як видно, значення індексів лежать у межах:  $F_1$  від 0,8 до 1,0;  $F_2$  від 1,5 до 2,8;  $F_{10}$  від 1,2 до 2,7. Значення інших індексів змінюються в широких межах. Це свідчить про те, що спектральні смуги в синій області спектра (430, 460 та 530 нм) можна застосовувати як реперні й порівняння з ними надасть можливість оцінити зміни інтенсивності флуоресценції у червоній (690 та 740 нм) області спектра.

Так, наприклад, перехід від етильованого паростка до жовтого стебла (пшениця «Білоцерківська-47») характеризується зменшенням індексу  $F_3$  від 2,8 до 1,4;  $F_4$  від 3,4 до 2,0;  $F_5$  від 3,0 до 1,6;  $F_7$  від 8,5 до 2,2;  $F_8$  від 9,6 до 2,7.

Можна припустити збільшення деяких індексів у ярових культур порівняно з озимими: так, індекс  $F_3$  збільшується від 1,4 (пшениця яра «Киянка») до 2,9 (пшениця озима «Корунд»); від 2,0 (ячмінь озимий «Крим») до 2,2 (ячмінь ярий).

Результати опромінювання білим світлом (4000 лк) упродовж 1,5 доби свідчать про зменшення індексу  $F_3$  від 3,0 до 1,9 (пшениця яра «Харків-7») та від 13,0 до 4,3 (пшениця яра «Діана»). Те саме можна сказати про індекси  $F_4$ ,  $F_5$ ,  $F_7$  та  $F_8$ .

Для паростків кукурудзи майже всі співвідношення мають більш високі значення, оскільки інтенсивність червоних максимумів залишається малою. Слід відзначити, що паростки кукурудзи мають білий колір, тоді як паростки інших культур – білий із жовтуватим відтінком. Пояснити цей факт можна сповільненим процесом накопичення протохлорофіліду.

Ми не знайшли суттєвих відмінностей серед флуоресцентних індексів зразків, притаманних різним генетичним формам (озима та ярова культури) та залежності флуоресценції хлорофілу від роду та сорту пшениці.

## Висновки

Використання методу лазерної спектрофлуориметрії для діагностики вікових і видових відмін злакових культур та кукурудзи показало, що найсуттєвіші зміни флуоресцентних характеристик проявляються на різних фазах розвитку. Залежність флуоресцентних індексів від роду, сорту та генетичних форм не знайдена.

## Список літератури

1. Lichtenthaler H. K. *In vivo* chlorophyll fluorescence as a tool for stress detection in plants. In : Application of Chlorophyll Fluorescence in Photosynthesis Research, Stress Physiology, Hydrobiology and Remote Sensing / Lichtenthaler H. K., ed. – Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1988. – P. 129 – 142.
2. Lichtenthaler H. K. The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants / H. K. Lichtenthaler, U. Rinderle // CRC Critical Reviews in analytic Chemistry, 1988. – 19. – P. 29–85.
3. Lichtenthaler H. K. Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. / Lichtenthaler, Hartmut K. // Journal of Plant Physiology. – 1996. – 148 (1/2) – P. 4–14.

4. Matysiak Renata. The xanthophyll cycle under abiotic stress / Matysiak Renata, Lorenc-Plucinska Gabriela // J. Postepy Biologii Komorki. – 2000. – 27 (1). – P. 17– 29.
5. Roy S. Chlorophyll analysis by the fluorometric method / S. Roy // Pelagic Ecology Methodology. – 2002. – P. 121–130.
6. Cavender-Bares J. From leaves to ecosystems: using chlorophyll fluorescence to assess photosynthesis and plant function in ecological studies / Cavender-Bares J., Bazzaz F. A. // Advances in Photosynthesis and Respiration. –2004. – 19. – P. 737–755 (Chlorophyll a Fluorescence).
7. Посудін Ю. І. Вплив зневоднення на показники індукції флуоресценції хлорофілу у листках салату (*Lactuca sativa* L.) / Ю. І. Посудін, О. О. Годлевська, І. А. Залоїло // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – Вип. 194, ч. 3. – С. 226–229.
8. Agati G. A simple approach to the evaluation of the reabsorption of chlorophyll fluorescence spectra in intact leaves. / Agati G., Fusi F., Mazzinghi P., Lipucci di Paola M. // Journal of Photochemistry and Photobiology. – B. : Biology, 1993. – 17 (2). – P. 163–171.

### **ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОФЛУОРИМЕТРИЯ ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР *IN VIVO***

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

**Аннотация.** Предложены возможные области применения метода лазерной спектрофлуориметрии злаковых культур. Показано, что данный подход является перспективным для дифференцирования возрастных и видовых различий злаковых культур на различных этапах развития. Зависимость флуоресцентных индексов от рода, сорта и генетических форм не обнаружена.

**Ключевые слова:** флуоресценция, спектрофлуориметрия, злаковые культуры.

### **LASER SPECTROFLUORIMETERS CEREAL *IN VIVO***

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

**Annotation.** The possible applications of the method of laser spectrofluorometry of cereals. It is shown that this approach is promising for the differentiation of the age and species differences cereal crops at different stages of development. The dependence of the fluorescence indices of age, variety and genetic forms not found.

**Key words:** fluorescence, spectrofluorometry, cereals.