

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

O. Kovyrova

REVIEW OF THE DEVICES FOR MEASURING CHLOROPHYLL FLUORESCENCE INDUCTION

Parameters of the devices for measuring chlorophyll fluorescence induction are considered in the article.

Key words: chlorophyll fluorescence induction; fluorometer.

Проанализированы параметры приборов для измерения индукции флуоресценции хлорофилла.

Ключевые слова: индукция флуоресценции хлорофилла, флуориметр.

Проанализовані параметри приладів для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу.

Ключові слова: індукція флуоресценції хлорофілу, флуориметр.

© О.В. Ковирьова, 2013

УДК 578.01+681.7.08+535.3+681.335.2

О.В. КОВИРЬОВА

ОГЛЯД ПОРТАТИВНИХ ПРИЛАДІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ІНДУКЦІЇ ФЛУОРЕСЦЕНЦІЇ ХЛОРОФІЛУ

Вступ. В Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України створено і поставлено на серійне виробництво портативний прилад "Флоратест" для експрес-діагностики стану рослин (спектральний діапазон вимірювання інтенсивності флуоресценції від 670 до 770 нм) [1, 2]. Прилад дає змогу швидко оцінити рівень впливу природного оточуючого середовища і забруднень на живі рослини. Робота приладу базується на вимірюванні в реальному часі кривої індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ).

Прилад складається з наступних елементів: блок управління, виносний сенсор, джерело живлення, рідкокристалічний дисплей, клавіатура. В статті [3] виконано аналіз сенсорів для польових приладів вимірювання показників ІФХ, в даній роботі аналізуються прилади в цілому.

Прилади фірми Hansatech Instruments. Англійська фірма Hansatech Instruments [4] випускає два типи приладів для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу: способом імпульсно-модульованої флуоресценції (FMS I, FMS II) та способом неперервної флуоресценції (Handy PEA, Pocket PEA, M-PEA). З них портативними є лише прилади Handy PEA та Pocket PEA. Handy PEA [5] – флуориметр, який має можливість зберігати до 5 визначених програм вимірювання для різних областей застосування. Програми можуть бути написані за допомогою програмного забезпечення PEAPlus, яке поставляється фірмою Hansatech. Воно дозволяє створити тести з довільними періодами попереднього освітлення зразків і завантажити їх через

інтерфейс RS-232 в пам'ять приладу Handy PEA. Використання програм забезпечує максимум відтворюваності результатів під час користування у полі, де передбачено великий обсяг досліджень. Збережені дані можуть бути відображені на екрані в числовому форматі з розрахованими параметрами або передані до програмного забезпечення Handy PEA, де можуть бути відображені у графічному режимі. Кількість файлів з даними, які може зберігати прилад, рівна 1000.

Rocket PEA [6] – це хлорофіл флуориметр, який може використовуватися для навчання, досліджень та широкого кола комерційних прикладних задач. Операції повністю автоматизовані: від зняття даних до показу на екрані приладу параметрів кривої індукції флуоресценції хлорофілу [7] та показника якості (Performance Index). Передбачено можливість проведення виміру впродовж однієї секунди. Пам'ять приладу може зберігати до 200 вимірів. Прилад оснащений модулем безпроводного зв'язку Bluetooth. Програмне забезпечення PEA Plus Mobile розроблене для кишенькового персонального комп'ютера і дозволяє зберегти та переглянути параметри в обмеженому режимі.

Прилади фірми Photon Systems Instruments. Чеська компанія Photon Systems Instruments [8] представляє ряд інструментів для дослідження флуоресценції:

- FluorCams – великі стаціонарні флуориметри, які вимірюють послідовності зображень флуоресценції хлорофілу за спеціальною методикою. Флуоресцентне випромінювання ініціюється двома (або більше) панелями із світлодіодів. Зображення флуоресценції фіксується за допомогою камери з роздільною здатністю в 512*512 (640*640, 1392*1040) піксельній мікросхемі. Може бути збережено до 50 зображень в секунду. Прилад використовується для визначення динаміки і просторової неоднорідності, а ефект Каутського та параметри флуоресценції розраховуються;

- модуляційні флуориметри серії FL 3500 вимірюють сигнал флуоресценції хлорофілу з часовою роздільною здатністю до 1 мкс або 4 мкс в залежності від моделі. Існує можливість використання методу амплітудно-імпульсної модуляції. Головна відмінність від інших приладів у тому, що прилад може генерувати актиничні спалахи високої потужності. Прилади можуть використовуватися для вимірювання параметрів флуоресценції фотосинтетично активних зразів, суспензій рослин, листя, коралів та морських водоростей;

- портативні прилади декількох серій для вимірювання параметрів флуоресценції, параметрів відбиття, фотосинтетично активної радіації, кількості світла в заданому діапазоні, величини оптичної густини в суспензіях.

Серія приладів FluorPen представлена дев'ятьма приладами для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу, які відрізняються комплектацією, кількістю параметрів, які вимірюються, та способом передачі даних (USB або Bluetooth). Живлення приладів відбувається від гальванічних елементів.

Існує чотири види кліпс: стандартна кліпса для листка для вимірів з короткою темною адаптацією, відкрита кліпса для вимірів, коли не потрібна темнова адаптація, тримачі для різних видів зразків (моху, лишайників та інших не-

стандартних матеріалів), накладна кліпса (для вимірів з довгою темною адаптацією).

Прилади фірми Opti-Science. Американською фірмою "Opti-Science" [9] розроблено та виготовляється три модуляційні хлорофіл флуометри для швидкого визначення стресу рослин: OS5p, OS1p, OS-30p (в роботі [10] наведена порівняльна таблиця даних приладів).

Прилад OS1p містить кольоровий сенсорний екран, USB-порт, карту пам'яті MMC/SD для зберігання і переносу даних. Прилад оснащений кліпсою, яка містить датчик для вимірювання випромінювання оточуючого освітлення або внутрішнього актиничного випромінювання. Слід відзначити, що прилад містить твердотільний терморезистор для вимірювання температури листа.

Флуориметр OS30p призначений для перевірки фотохімічної ефективності. Прилад містить вбудований оптичний датчик, що дозволяє використовувати його в ручному режимі. Містить кліпсу, яку можна використовувати для попередньої темної адаптації і яка дозволяє проводити вимірювання не пошкоджуючи структуру листа. Індукована флуоресценція вимірюється фотодіодом на довжині хвилі більшій 700 нм. Інтенсивність збудження та час вимірювання обирається користувачем.

Портативні флуориметри фірми Heinz Walz GmbH. Німецькою фірмою Gademann Instruments [11] сумісно з Ульріхом Шрайбером [12, 13] та Heinz Walz GmbH [14] розроблено хлорофіл флуориметри, робота яких базується на імпульсно-амплітудній модуляції (Pulse Amplitude Modulation, PAM). Фірма виробляє ряд приладів для вимірювання флуоресценції хлорофілу, зокрема для навчання, для аналізу фітопланктону, для роботи під водою, портативні прилади, серія приладів для отримання зображення параметрів флуоресценції, системи для аналізу флуоресценції та додаткових параметрів, портативна система для визначення газообміну та флуоресценції. Розглянемо портативні прилади.

PAM-2500 – це хлорофіл флуориметр, який призначений для роботи в полі та лабораторіях. Програмне забезпечення PamWin-3 автоматично розраховує коефіцієнти затухання, ефективний вихід фотохімії фотосистеми II і додаткові виходи дисипації не фотохімічної енергії, а також видиму швидкість транспорту електронів. PAM-2500 може бути налаштований для вимірювання листа або суспензій.

Програмне забезпечення PamWin-3, яке поставляється в комплекті з приладом, може працювати в двох режимах: польовому та розширеному. Польовий режим є спрощеним і призначений для використання тільки під час вимірювання. Розширений режим призначений для аналізу отриманих даних, включає аналіз імпульсів насичення, запис кінетики флуоресценції (від швидкої у мікросекундах до повільної у секундах, хвилинах та годинах), а також графічні та аналітичні функції.

MINI-PAM – це аналізатор виходу флуоресценції. Основне призначення – оцінка ефективного квантового виходу перетворень фотохімічної енергії. Принцип роботи базується на амплітудно-імпульсному методі. Розрізняють дві версії приладу: червону та синю, які відрізняються лише кольором модульованого сві-

тла збудження. Обидві версії використовують волоконну оптику для направлення збуджуючого світла на зразок і фіксації флуоресценції.

MONITORING-PAM – це багатоканальний флуориметр для постійного одночасного відстеження параметрів флуоресценції хлорофілу декількох зразків у польових умовах та під водою. Одночасно можуть використовуватися до семи сенсорів. Наявні два типи сенсорів, розроблені для довготривалого використання в полі та під водою. Кожний сенсор оснащений синім світлодіодом для забезпечення модульованого випромінювання збудження флуоресценції. Максимальна відстань від сенсора до базового блоку 10 м. Компоненти водонепроникні та захищені від впливу навколишнього середовища.

Отже, розрізняють водну та наземну версії, додатково розрізняють on-line та автономну конфігурації приладу. Для on-line версії необхідне постійне джерело живлення, а автономна версія призначена для довготривалого спостереження фотосинтезу у віддалених місцях при відсутності джерел живлення. За допомогою телефонного або супутникового модему дані можуть бути передані до віддаленого комп'ютера з часовою затримкою. Живлення може здійснюватися від сонячної батареї.

Прилади фірми EARS. Голландською фірмою EARS [15] розроблено серію приладів miniPPM (mini Plant Photosynthesis Meter) для вимірювання фотосинтетичного виходу випромінювання. Базова версія приладу miniPPM-100 вимірює флуоресценцію хлорофілу та ефективність фотосинтезу. Більш складна модель miniPPM-200 вимірює ФАР та швидкість фотосинтезу. Прилад може виконати серію вимірювань у автоматичному режимі та зберегти дані на карті microSD або передати до комп'ютера. MiniPPM-300 – професійна версія приладу, який може попередньо визначати рівні освітленості та генерувати автоматично криві фотосинтез-освітленість. MiniPPM вимірює флуоресценцію з модульованим джерелом освітлення. Прилад можна використовувати в лабораторіях та в полі. Одночасно з даними виміру в пам'яті приладу зберігається час та дата вимірювання.

Прилад фірми Spectrum Technologies. Прилад SPAD-502Plus [16], розроблений компанією Spectrum Technologies (Орора, штат Іллінойс, США), призначений для визначення відносної величини наявного хлорофілу в листях рослин за допомогою вимірювання спектральної поглинаючої здатності в двох областях довжини хвилі, а саме в червоному та ближньому інфрачервоному діапазоні. Використовуючи ці два значення прилад розраховує значення, яке пропорційне значенню величини наявного хлорофілу в листях. Прилад поставляється з вбудованим модулем реєстрації даних та без нього. Даний прилад може містити GPS приймач (максимальна кількість даних рівна 1488) або не містити (максимальна кількість вимірювань рівна 4096).

В таблиці наведені основні характеристики розглянутих приладів. В таблицю не включено такий важливий параметр, як ціна, оскільки в більшості випадків вона не надається у вільному доступі. Для кількох приладів вона відома, зокрема вартість FluorPen FP 100 складає 999 євро (це вартість найпростішої версії приладу без можливості передачі даних), MONITORING-PAM – 18520 євро,

Флоратест – 400 євро. Програмне забезпечення всіх приладів працює в операційній системі Windows, тому даний параметр також не включено в таблицю. Крім того, виключено з розгляду температуру оточуючого середовища. Для всіх наведених приладів, крім MONITORING-PAM, температура оточуючого середовища має бути від 0 до 45°C. Прилад MONITORING-PAM може працювати при температурі від -30 до 60°C. В усіх приладах присутній LCD екран для показу отриманих даних. Прилади OS1p, PAM-2500 та MONITORING-PAM мають сенсорний екран.

При аналізі таблиці видно, що більшість приладів використовують імпульсну модуляцію. Датчиком у приладах є фотодіоди з різними довжинами хвиль. Час вимірювання також відрізняється: від 0,1 с (Handy PEA) до 16 год (OS1p). Тривалість вимірювання можна вибирати довільно (Handy PEA, OS-30p, OS1p, PAM-2500, MONITORING-PAM) або обирати з наданих варіантів (Pocket PEA, Флоратест). Об'єм фізичної пам'яті приладу є важливим параметром, оскільки від цього залежить зручність його використання у польових умовах. Як видно із таблиці в деяких приладах надається можливість користуватися з'ємними флеш-картами. Водночас кількість вимірювань, які можна зберегти в приладі, не залежить від об'єму фізичної пам'яті. Наприклад, при наявності пам'яті в 512 кб в приладі OS-30p може бути збережено 8 190 наборів даних, а в Handy PEA – 1000, Pocket PEA – 200.

Для передачі даних комп'ютеру в більшість приладів вбудований інтерфейс RS-232, однак деякі прилади використовують більш сучасні інтерфейси USB та Bluetooth. Як елементи живлення використовуються акумуляторні батареї різного типу з можливістю перезарядки. Час роботи варіюється від 8 до 80 год безперервної роботи, а в деяких випадках розробник вказує кількість вимірювань, яку можна отримати без перезарядки батареї (MINI-PAM, miniPPM, SPAD-502Plus).

Для використання в польових умовах важливим параметром приладу є вага. Вона варіюється від 180 г (FluorPen FP 100) до 5400 г (MONITORING-PAM). Прилад MONITORING-PAM має більшу вагу із-за наявності базового блоку та семи окремих головок. В середньому вага портативних приладів рівна 500 гр.

ТАБЛИЦЯ . Порівняння характеристик портативних приладів для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу

Назва приладу\Параметр	РАМ-2500	OS Ip	OS-30p	FluorPen FP 100	Pocket PEА	Handy PEА
Тип приладу	імпульсно-модуляційний			імпульсно-модуляційний		
Датчик	PIN фотодіод 715 нм	PIN фотодіод з 700 – 750 нм	PIN фотодіод 700 – 750 нм	PIN фотодіод 697 – 750 нм	PIN фотодіод	PIN фотодіод
Час вимірювання	змінний	від 2 с до 16 год	2 -255 с		1, 3 чи 10 с	0,1-300 с
Обсяг фізичної пам'яті	60 Гб у мінікомп'ютері	1 гб flash-пам'яті	512 кб	4 МБ	512 Кб	512 Кб
Кількість даних		8 190 наборів даних	8 190 наборів даних	До 100 000 точок даних	200	1000
Зв'язок з комп'ютером	Bluetooth 2.0+EDR Class 2.0, USB	RS-232, USB, SD/MMC	RS-232	Bluetooth, USB, RS-232	Bluetooth	RS-232
Джерело живлення	аккумуляторна батарея	аккумуляторна батарея типу Ni-MH	аккумуляторна батарея типу Ni-MH	4 аккумуляторні батареї типу ААА	аккумуляторні батареї	аккумуляторні батареї
Час автономної роботи, год		8	8	48	8-9	8-9
Клавіатура	Кнопки на міні комп'ютері	відсутня	13 кнопок	2 кнопки	2 кнопки	15 кнопок
Розмір, мм	230*105*105	178*140*83	180*70*60	120*57*30	175*75*35	170*85*40
Вага, г	2500 (прилад з батареєю)	1360	500	180	250	565

Закінчення таблиці

Назва приладу\Параметр	Флоратгест	SPAD-502Plus	miniPPM	MINI-PAM	MONITORING-PAM
Тип приладу		імпульсно-модуляційний	імпульсно-модуляційний	імпульсно-модуляційний	імпульсно-модуляційний
Датчик	Фотодіод 670-770 нм	фотодіод	Фільтр низьких частот (> 720 нм)		PIN фотодіод 645 нм
Час вимірювання	10с, 160 с				змінний
Обсяг фізичної пам'яті			2 Гб microSD карта	128 Кб	8 Мб буфер і 512 Мб microSD флешкарта.
Кількість даних	40	30		4000 наборів даних	
Зв'язок з комп'ютером	USB	RS-232	USB, RS-232	RS232	USB, RS-485
Джерело живлення	4 батарей типу AA	2 батарей типу AA	аккумуляторна батарея	аккумуляторна батарея	аккумуляторна батарея
Час автономної роботи, год	80 год	більше 20000 вимірювань	більше 3000 вимірювань	до 1000 вимірювань	>8
Клавіатура	4 кнопки	4 кнопки, 1 перемикач	4 кнопки	8 кнопок	
Розмір, мм	186,6*105,8*120	164*78*49	200*62*44	190*130*95	Циліндр діаметром 16 см і довжиною 24 см
Вага, г	550	200 (без батарей)	830	2050 (прилад з батареєю)	5400

Висновки. 1. Наявність на світовому ринку великої кількості портативних приладів для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу свідчить про актуальність даної проблематики та інтерес до даного питання іноземних науковців та виробників обладнання.

2. Серед великої кількості аналогів, портативний прилад "Флоратест", розроблений в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова, є конкурентоспроможним завдяки наявним перевагам: невелика вартість, сучасний інтерфейс передачі даних на комп'ютер, невелика вага та зручність у користуванні.

3. Проведений аналіз дозволяє виділити ті важливі для користувача параметри, на які в подальшому слід звернути увагу при модернізації приладу "Флоратест" для досягнення вищого рівня конкурентоспроможності.

1. Романов В.О., Галелюка І.Б. Комп'ютерний прилад для експрес-діагностики стану рослин: результати міжнародного проекту по підготовці до серійного випуску // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2012. – № 11. – С. 91 – 98.
2. Романов В.А., Галелюка І.Б., Сахаран Е.В. Портативный флуориметр и особенности его применения // Сенсорная электроника и микросистемные технологии. – 2010. – 1 (7). – № 3. – С. 146 – 152.
3. Артеменко Д.М., Колесник Ю.С., Романов В.О. та інші. Хлорофіл-сенсори польових приладів // Сенсорна електроніка і микросистемні технології. – 2012. – Т. 2(9), № 2. – С. 43 – 49.
4. <http://www.hansatech-instruments.com>
5. <http://www.hansatech-instruments.com/forum/uploads/infosheets/download/Handy%20PEA.pdf>
6. <http://www.hansatech-instruments.com/forum/uploads/infosheets/download/Pocket%20PEA.pdf>
7. Корнеев Д.Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла. – К.: "Альтапрес", 2002. – 188 с.
8. www.psi.cz
9. <http://optisci.com/>
10. http://www.adc.co.uk/bmt_mymedia/files/Opti_floro_guide.pdf
11. <http://www.gademann.com/uva.html>
12. <http://www.uni-due.de/geologie/mitarbeiter/schreiber.php>
13. http://rsi.aip.org/resource/1/rsinak/v46/i5/p538_s1?isAuthorized=no
14. <http://www.walz.com/products/categories.html>
15. <http://www.ears.nl/howtoreach.php>
16. <http://www.specmeters.com>

Одержано 25.10.2013