

# КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

*O. Palagin, Ye. Sarakhan,  
O. Prysyzhnyuk, I. Korovko*

## **INFORMATION FEATURES OF MAIN INDICATORS OF METHOD OF CHLOROPHYLL FLUORESCENCE INDUCTION OF SUGAR BEET PLANTS**

*The article describes the features of practical use of chlorophyll fluorescence induction method as life indicators of sugar beet plants in making wireless sensor networks.*

*Key words: wireless sensor network, data acquisition.*

*Рассмотрены результаты определения физиологического состояния растений для целей создания методического обеспечения беспроводной сети на примере сахарной свеклы.*

*Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, получение данных.*

*Розглянуто результати визначення фізіологічного стану рослин для створення методичного забезпечення бездротової мережі на прикладі цукрових буряків.*

*Ключові слова: бездротова сенсорна мережа, отримання даних.*

© О.В. Палагін, Є.В. Сарахан,  
О.І. Присяжнюк, І.І. Коровко,  
2015

УДК: 51-76:004.031.43:633.63

О.В. ПАЛАГІН, Є.В. САРАХАН,  
О.І. ПРИСЯЖНЮК, І.І. КОРОВКО

## **ІНФОРМАЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ КРИВОЇ ІНДУКЦІЇ ФЛУОРЕСЦЕНЦІЇ ХЛОРОФІЛУ НА ПРИКЛАДІ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

**Вступ.** Природньо традиційне сільське господарство України містить багато трудомістких та енерговитратних технологічних операцій. Воно є однією з найважливіших галузей промисловості, яке дає їжу, корм і паливо. Кожного дня відбувається ріст світового населення, щоб задовольнити попит у продуктах харчування врожайність має теж зростати. Врожайність – це комплексний показник, який залежить від багатьох умов: кліматичних, географічних, ґрунтових, мікробіологічних, біологічних, агротехнічних, організаційно-економічних та ін. У плануванні, обліку і економічному аналізі використовують декілька показників врожайності. Обчислюють потенційну врожайність, планову врожайність, очікувану, біологічну та фактичний збір.

На сучасному етапі розвитку сільського господарства необхідно використовувати більш швидкі та достовірні методи аналізу ефективності фотосинтетичної діяльності рослини для вживання запобіжних заходів до збирання врожаю.

**Аналіз останніх досягнень.** Розглянемо наступні тенденції з переходом до ринкової економіки земля також є товаром, тому основні сільськогосподарські холдинги скуповують землю закордоном і починають там фермерство, що пов'язано з низькою вартістю землі та робочої сили. Фермери та скотарі

світу переходять до точних методів ведення сільського господарства, розділяючи площі на ділянки під декілька сільськогосподарських культур та видів діяльності, поєднуючи рослинництво зі скотарством, тим самим збільшуючи продуктивність і знизити загальні витрати. Безпілотні літальні апарати використовуються для створення карт, спостереження, оцінки та обприскування. Використовують пілотовані навігаційні системи, які здатні забезпечити більшу точність. Майже усі технологічні операції, що пов'язані з обприскуванням, наприклад, в Японії здійснюється за допомогою невеликих безпілотних вертольотів.

Таким чином, сільське господарство знаходиться останнім часом у процесі переходу до промислового, майже фабричного виробництва. Ведення сільського господарства відрізняється від країни до країни, з урахування географічного розташування, родючості ґрунту, кількості опадів та тепла. Має регіональні особливості та варіює за типом господарств: від примітивного, традиційного до точного та експериментального. Але існує загальна тенденція у всьому світі – перехід до раціонального прецизійного (точного) землеробства, що використовує сучасні інформаційні технології, включаючи робототехніку. На додаток до глобальної перестройки клімату існує постійне зростання населення, зростає вартість води, впроваджуються нові політичні та нормативні процедури, обмежуються орні площі, дешеві продукти виробляються швидше завдяки впровадженню автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП). Сучасні фермери та скотарі вже використовують нові системи з цифровим управлінням та іншими елементами високих технологій. На ринку представлено частково і повністю автоматичні пристрої для більшості технологічних операцій від щеплення до посадки, від заготівлі до сортування та пакування. Агрономи використовують системи програмного забезпечення, електронні карти-схеми і необхідні дані для діяльності на місцях. Широке використання здобули системи автоматичного управління, якими оснащені багато нових тракторів, що слідують за GPS координатою під управлінням програмного забезпечення. В світі існує досвід країн, де окремі технологічні операції виконують повністю автоматично. Таким чином, беручи до уваги тенденції розвитку машин та систем, далекоглядні власники фермерських господарств мають змогу швидко перейти безпосередньо до автоматизованих систем попереднього прогнозування та роботизованої техніки.

Новітні технології дозволяють створювати сучасні системи, зокрема, обробки даних, які можуть у режимі реального часу в експресному режимі давати рекомендації та висновки про те, у якому стані знаходиться об'єкт, завдяки використанню різноманітних сенсорів, які об'єднані у мережу. Вдалим прикладом є медичні системи спеціального призначення для визначення боєздатності бійця та еколого-біологічні системи ранньої діагностики стану сільськогосподарських рослин під час вегетації та екологічного навантаження на стан рослин мегаполісів [1]. У результаті тривалої роботи, що виконуються фахівцями Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України у складі академіка НАН України О.В. Палагіна, д-ра техн. наук В.О. Романова, канд. техн. наук І.Б. Галелюки, канд. сільськ.-госп. наук С.В. Сарахан створено сімейство приладів «Флоратест»

для експрес-діагностики стану рослин. Останніми результатами, що отримані при виконанні міжнародного проекту НАН України, національного проекту та у рамках Програми НАН України «Сенсорні прилади для медико-екологічних та промислово-технологічних потреб», можна вважати розробку мультисенсорної бездротової мережі з її окремими вузлами [2].

У цій статті приведені результати роботи по визначенню фізіологічного стану рослин цукрових буряків за основними показниками кривої індукції флуоресценції хлорофілу, що передують етапу створення методичного забезпечення по роботі з оптичними сенсорами, об'єднаними у бездротову сенсорну мережу.

**Мета роботи** наступне: за допомогою вивчення параметрів індукції флуоресценції хлорофілу діагностувати фізіологічний стан гібридів цукрових буряків, а також попередньо оцінити зміни функціонування електрон-транспортного ланцюга фотосинтезу в хлоропластах. Оцінити можливості використання встановлених показників для побудови методичного забезпечення у роботі з оптичними сенсорами об'єднаними у бездротову сенсорну мережу.

Аналіз параметрів індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) [3, 4] заснований на вимірюванні індукції випромінювання (флуоресценції) хлорофілом надлишку поглинутого світла, яке не задіяне у фотосинтезі, що дає змогу оцінити стан електронно-транспортного ланцюгу фотосинтезу та являє собою потужний інструмент вивчення впливу найрізноманітніших екологічних факторів на рослинні організми. Хімічні фактори і кліматичні умови, часто будучи інгібіторами і активаторами біоенергетичних процесів, що протікають у рослинних клітинах, здатні надавати виражений вплив на параметри кінетики та спектральні особливості флуоресценції, а також на її стаціонарний рівень. Дослідження кінетики флуоресценції можуть дати важливу інформацію, що стосується характеру активності фактора зовнішнього середовища до впливу на параметри фотосинтезу. Фізіологічно значимі дані отримують на основі аналізу таких кінетичних параметрів, таких як фонові флуоресценція ( $F_0$ ), максимальна флуоресценція ( $F_m$ ) і стаціонарна флуоресценція ( $F_{st}$ ) [5, 6]. Найбільш інтегрованим показником, який характеризує ефективну структуру організації пігментної системи фотосистеми II (ФСII), є коефіцієнт  $F_v/F_m$  ( $F_v = F_m - F_0$ ).

**Матеріали та методика дослідження.** Доцільно проаналізувати ґрунтово-кліматичні умови, що склалися на період проведення досліджень, які безпосередньо впливають на ростові процеси рослин цукрових буряків, за виключенням генетичних особливостей та рівня агротехніки.

Цукрові буряки – культура досить вибаглива до кліматичних умов, тому доцільно розглянути агрометеорологічні показники за вегетаційні періоди років дослідження. Щодо режиму зволоження 2013, 2014 рр. не значно відрізняються за сумарною кількістю опадів – 461,9 і 446,1 мм відповідно. Найбільше опадів спостерігалось у червні вищезазначених років (52,7 і 77 мм, відповідно). Недостатньо опадів було в липні 2013 року (2,6 мм), протилежна ситуація спостерігалась у 2014 році, коли кількість опадів склала 95,7 мм. На відміну від посушливого серпня 2013 року, особливо I і II декади (0 мм), у 2014 році серпневі опади склали 72,5 мм.

Грунт дослідної ділянки – це чорнозем глибокий середньо суглинковий на лесовидному суглинку: в орному шарі в середньому міститься 2,5 % гумусу, рН 6,52. Забезпеченість лужногідролізованого азоту на рівні 235 мг/кг. Забезпеченість фосфором змінювалася від середнього до досить високого – 130–380 мг/кг і обмінного калію підвищений рівень – 85–120 мг/кг ґрунту. Сума увібраних основ 25,5–39,5 мг-екв /100г ґрунту, гідролітична кислотність складає 0,31 – 3,26 мг-екв/100г ґрунту.

Під час роботи використовували портативний прилад сімейства «Флоратест» виробництва Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова, а як об'єкти дослідження було взято 16 гібридів цукрових буряків дослідного поля (с. Ксавєрівка). Адаптація листя до темряви тривала 5 хв. Довжина хвилі освітлення – у максимумі 470±15 нм; освітленість у межах плями не менш ніж 20 Вт/м<sup>2</sup>. Спектральний діапазон вимірювання флуоресценції становить 670–800 нм.

**Основні результати дослідження.** Конкуруючим процесом дезактивації збуджених станів пігментів є флуоресценція хлорофілу «а» [7]. Тому, за даним показником можна отримати інформацію про електронно-транспортний ланцюг фотосинтезу.

У зв'язку з тим, що на даний час у літературі та на практиці описаний уніфікований та валідний метод визначення індукції хлорофілу для кожної культури, сорту та його гібриду, а отже не має встановленого критерію для порівняння отриманих числових показників, тому доцільно побудувати та розглянути графічне зображення кривих флуоресценції хлорофілу, встановити залежність показників від стану під час послідовних фенологічних фаз розвитку рослин.

Ці дослідження нами проведені з використанням портативного приладу «Флоратест» на рослинах цукрових буряків з метою визначення основних показників індукції флуоресценції хлорофілу та можливостей побудови методичного забезпечення для використання бездротової сенсорної мережі на сільськогосподарських промислових культурах, для обробки графічних даних зміни показника індукції флуоресценції хлорофілу цукрових буряків за вегетаційний період [8].

Отримані криві характеризують динаміку зміни флуоресценції хлорофілу за фазами розвитку. Приклади таких кривих показані на рис. 1 – 4.

Як можна побачити на рисунках, інтенсивність флуоресценції змінюється відповідно до фаз розвитку: найменшу флуоресценцію спостерігаємо за фази технічної стиглості, так як відомо, що на флуоресценцію хлорофілу використовується, яка не була використана на фотосинтез. Виходячи з цього можна сказати що саме за цієї фази іде найбільш ефективно використання сонячної енергії на синтез органічної речовини, зокрема накопичення сахарози. За показниками кривої у фазі 4 пари справжніх листа флуоресценція найбільша, можливо, це є наслідком малої листової поверхні та недостатньої кількості хлорофілу на ранніх стадіях розвитку рослини.

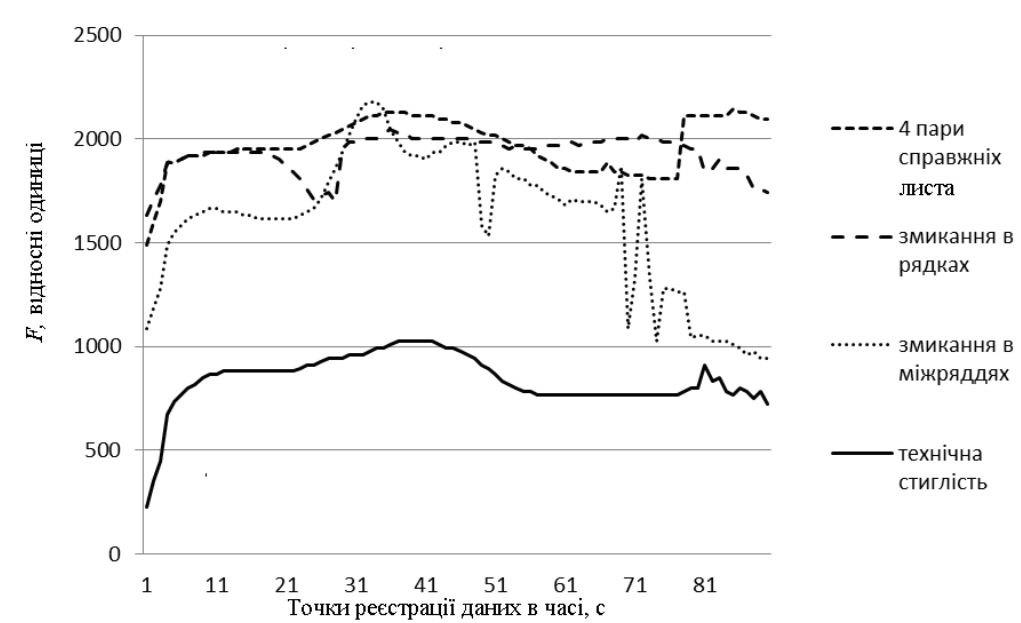


РИС. 1. Криві ІФХ за фазами розвитку гібриду Олександрія

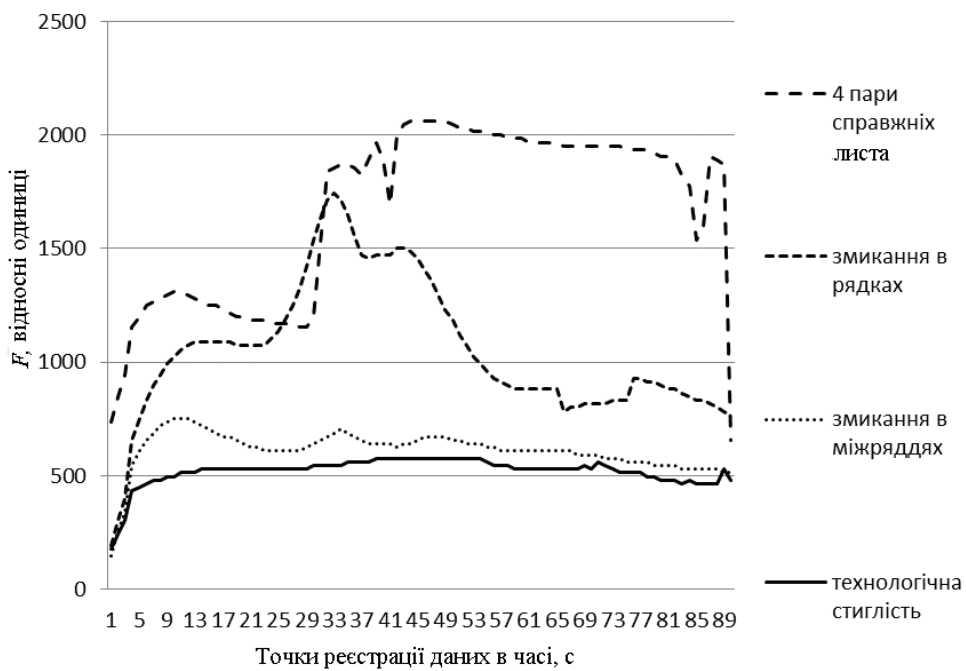


РИС. 2. Криві ІФХ за фазами розвитку гібриду Анічка

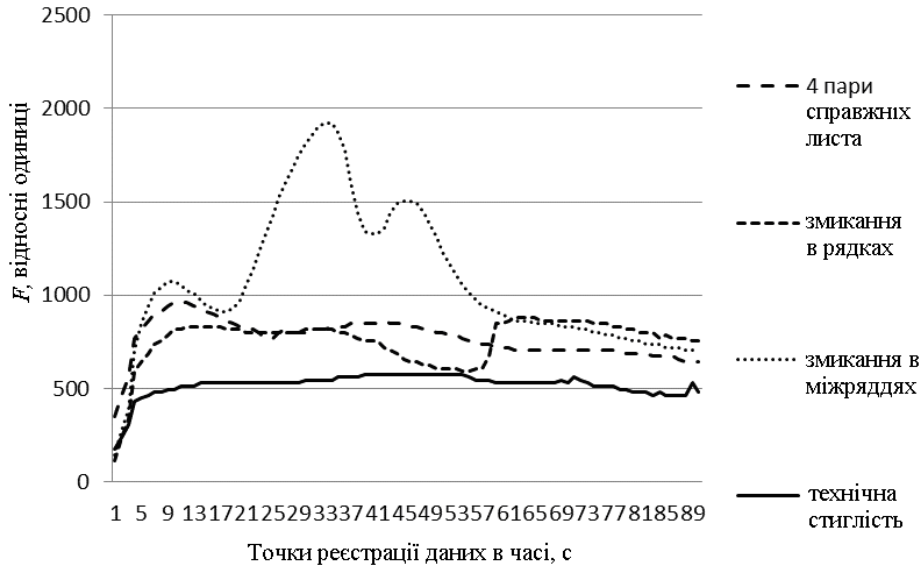


РИС. 3. Криві ІФХ за фазами розвитку гібриду Український ЧС 72

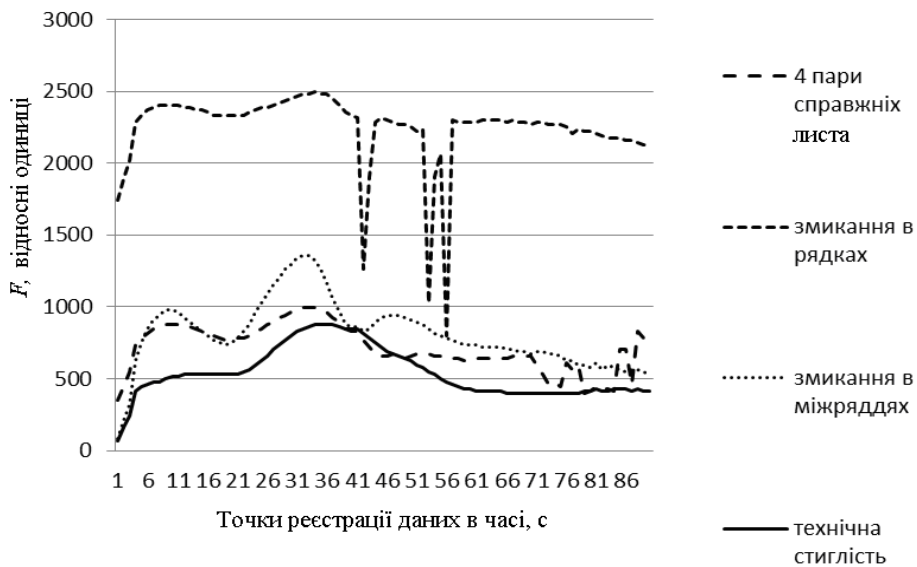


РИС. 4. Криві ІФХ за фазами розвитку гібриду Софія

Також наявні такі варіанти, коли у гібрида, наприклад, Софія чи Уманський ЧС 72, спостерігається найбільша флуоресценція за фази змикання листя в рядках і в фазу змикання листя в міжряддях відповідно, це свідчить про оновлення листового апарата.

За кривими розраховано: показник  $F_v/F_m$ , відомий за літературними даними як «максимальна квантова ефективність» ФСІІ; показник чутливий до продуктивності фотосинтезу; оцінка фотоінгибування. Експериментально визначено дослідниками для інших рослин, що даний показник прямує до 1 при нормальному фізіологічному стані рослини. Отримані нами дані зведені у таблиці. Розраховані норми максимальної квантової ефективності фотосистеми ІІ для низькі гібридів цукрових буряків.

ТАБЛИЦЯ. Максимальна квантова ефективність ФСІІ для гібридів цукрових буряків

Гібрид	Фаза розвитку рослин			
	4-ри пари справжніх листів	змикання листів у рядках	змикання листів у міжряддях	технічна стиглість
Ромул	0,81	0,71	0,95	0,49
Олександрія	0,3	0,2	0,53	0,78
Білоцерківський ЧС 57	0,01	0,38	0,78	0,86
Булава	0,55	0,59	0,57	0,76
Анічка	0,44	0,89	0,81	0,69
Український ЧС 72	0,63	0,87	0,93	0,69
Софія	0,65	0,68	0,94	0,93
Злука	0,82	0,63	0,92	0,65
Іваново-Веселоподільський ЧС 84	0,83	0,01	0,95	0,69
Рамзес	0,68	0,71	0,95	0,34
Ольжич	0,61	0,84	0,59	0,76
Уманський ЧС 90	0,98	0,97	0,82	0,84
Весто	0,97	0,97	0,9	0,87
Константа	0,97	0,96	0,5	0,69
Уманський ЧС 97	0,97	0,97	0,75	0,63
Кварта	0,33	0,97	0,03	0,83

З таблиці можливо побачити, що у фазі 4 пари справжніх листів найменше значення має гібрид Білоцерківський ЧС 57 ( $F_v/F_m = 0,01$ ), це, можливо, вказує на незадовільний фізіологічний стан рослин, така тенденція у гібрида є за наступної фази, але дещо вище (0,38) і вже за фази змикання в міжряддях (0,76) та технічної стиглості (0,86) цей показник доходить до умовної норми.

Також понижені показники спостерігали у гібридів Іваново-Веселоподільський ЧС 84 (0,01) у фазі змикання в рядках та Кварта (0,03) у фазі змикання в міжряддях, але ці відносно низькі значення не мали тенденції ні у

попередніх фазах, ні в наступних, що свідчить про здатність рослин відновлювати роботу фотосинтетичного апарату.

З наведеного можливо побачити, що величина  $F_v/F_m$ , яка характеризує потенціальну ефективність накопичення енергії світла для використання у процесі фотосинтезу, дає числове значення стану фотосистеми II. Як видно, з отриманих даних більшість гібридів у різних фазах мали значення  $F_v/F_m$  близько до 1, що свідчить про задовільний стан рослин, а також про ефективне використання сонячної енергії.

**Висновки.** В результаті проведених досліджень знайдено значення показників кривої індукції флуоресценції хлорофілу у рослинах цукрового буряку в залежності від фенологічних фаз розвитку; показано доцільність використання експрес-методу діагностики фізіологічного стану рослин методом ІФХ за допомогою приладу «Флоратест»; експериментально доведена можливість розрахунку показника максимальної квантової ефективності ФСII для гібридів цукрових буряків у залежності від стану та фенологічної фази розвитку.

Отримані результати можуть бути використані у бездротовій сенсорній мережі для експрес-діагностики стану рослин, а також екологічного моніторингу стану мегаполісів.

1. *Romanov V., Artemenko D., Brayko Yu. et al.* "Portable Biosensor: from Idea to Market", in International Journal "Information Theories & Applications". – Sofia, Bulgaria. – 2012. – Vol. 19, N 2. – P. 126–131.
2. *Romanov V., Gribova V., Galelyuka I. et al.* "Multilevel sensor networks for precision farming and environmental monitoring", in International Journal "Information Technologies & Knowledge" ІТНЕА. – Sofia, Bulgaria. – 2015. – Vol. 9, N 1. – P. 3–10.
3. *Корнеев Д.Ю.* Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла. – К.: Альтерпрес, 2002. – 188 с.
4. *Рубин А.Б.* Биофизические методы в экологическом мониторинге // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – 6, № 4. – С. 7–13.
5. *Butler W.L.* Chlorophyll fluorescence: a probe for electron transfer and energy transfer. – In: Encyclopedia of Plant Physiology. Vol. 5. / ed. by Trebst A., Avron M. – Springer. – Berlin, 1977. – P. 149–167.
6. *Butler W.L.* Energy distribution in the photochemical apparatus of Photosynthesis // Annu. Rev. Plant Physiol. – 1978. – Vol. 29. – P. 345–378.
7. *Schreiber U.* Chlorophyll fluorescence as a non-intrusive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis / U. Schreiber, W. Bilger, C. Neubauer. – In: Ecophysiology of photosynthesis. (Ecological Studies, vol 100) / ed. by Schulze E.D., Caldwell, M.M. – Springer. – Berlin, Heidelberg, New York, 1994. – P. 49–70.
8. *Присяжнюк О.І., Коровко І.І.* Розробка методу експрес-діагностики стану фотосинтетичного апарату рослин цукрових буряків на основі інтенсивності флуоресценції хлорофілу // Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. – 2014. – № 4 (24). – С. 12 – 20.

Одержано 20.09.2015