

**ДІАГНОСТИКА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ
ФОТОСИНТЕТИЧНОГО АПАРАТУ *AESCULUS CARNEA* HAUNE
МЕТОДОМ ІНДУКЦІЇ ФЛУОРЕСЦЕНЦІЇ ХЛОРОФІЛУ**

Ю. В. ЄВТУШЕНКО, аспірант*

С. Б. КОВАЛЕВСЬКИЙ, доктор сільськогосподарських наук, професор
Національний університет біоресурсів і природокористування України

О. І. КИТАЄВ, кандидат біологічних наук

Інститут садівництва НААН України

E-mail: evtushenko_july@ukr.net

Анотація. Метод індукції флуоресценції хлорофілу є експресним та інформативним методом діагностики фотосинтетичних процесів у рослинних організмах. Він дає змогу продемонструвати адаптаційні зміни механізму фотосинтезу, які виникають у зв'язку із підвищенням рівня антропогенного навантаження. Метою досліджень був аналіз діагностичних показників змін функціонального стану листків гіркокаштан м'ясо-червоного в різних урбоекотопах міста Києва. Дослідження були проведені у червні 2016 р. в лабораторії фізіології рослин та мікробіології Інституту садівництва НААН України. Вивчення функціонального стану пігментного комплексу листкового апарату представників *Aesculus carnea* Haune проводили за допомогою портативного приладу «Флоратест». У результаті проведення досліджень визначено вплив умов урбанізованого середовища на окремі параметри перебігу процесу фотосинтезу. Встановлено, що ознак бактеріальних та вірусних захворювань у досліджуваних рослин немає. За умов зростання рівня антропогенного навантаження відбувається зниження інтенсивності темнових фотохімічних процесів у хлоропластах листків. В умовах міста Києва гіркокаштан м'ясо-червоний характеризується достатньою толерантністю до дії негативних чинників навколишнього середовища.

Ключові слова: *Aesculus carnea* Haune, індукція флуоресценції хлорофілу листків, фотосинтез, антропогенні чинники.

У сучасному світі спостерігається тенденція погіршення балансу між природою та людиною. Негативний вплив антропогенних чинників на довкілля особливо помітний у великих мегаполісах. Інтенсивний розвиток

* Науковий керівник – доктор сільськогосподарських наук, професор С. Б. Ковалевський.

промисловості, зростання кількості автотранспорту належать до основних джерел забруднення повітря і становлять велику загрозу навколишньому середовищу.

Одним із індикаторів стану рослин є оцінка змін ефективності первинних процесів фотосинтезу під впливом дії чинників навколишнього середовища, адже саме процес фотосинтезу є ключовою ланкою складної системи метаболізму, яка забезпечує ріст і розвиток рослин. Техногенне забруднення може уповільнювати процеси біосинтезу хлорофілу та активувати процеси деградації. При накопиченні в листках великої кількості важких металів відбувається пригнічення синтезу хлорофілу, транспірації, а також процесів фотосинтезу: перебігу електрон транспортних процесів у хлоропластах листків, діяльності ферментів циклу Кальвіна тощо. За умов сильного впливу в листках відбувається руйнування клітин та хлоропластів, що призводить до появи хлорозів та некрозів [16].

Визначення індукційних змін флуоресценції хлорофілу є досить швидким та інформативним експериментальним методом екологічного моніторингу, який в останні роки набуває дедалі більшого застосування. Теоретичне обґрунтування, процес вимірювання та обробки отриманих даних методом індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) було описано в працях багатьох вчених [19; 20; 22].

Згаданий метод застосовують у контролі фізіологічного стану не лише окремих рослин, а й міських екосистем [2; 14]. Було продемонстровано чуттєвість процесу фотосинтезу до дії різних стресових чинників, таких як вплив температури [23], інтенсивність світла [21], дія токсинів [18], важких металів [17], забруднення атмосферного повітря [4] та зміна вертикальної зональності [13].

Дослідження функціонування фотосинтетичного апарату *A. carneia* в різних екологічних зонах міста Києва дасть змогу продемонструвати вплив умов місця зростання на процес фотосинтезу об'єктів дослідження та оцінити перспективи використання виду в озелененні.

Мета досліджень – вивчення екологотолерантності *A. carnea* за аналізом флуоресцентних показників фотосинтетичної активності листків у трьох екологічних зонах міста Києва.

Матеріали та методика досліджень. Експериментальні дослідження з визначення функціонального стану листків *A. carnea* проводили в лабораторії фізіології рослин та мікробіології Інституту садівництва НААН України. Об'єктами досліджень були листки гіркокаштану м'ясо-червоного з різних частин крон, які відбирали у червні 2016 р. у трьох екологічних зонах міста Києва: зона № 1 (умовний контроль) – Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка, зона № 2 – парк ім. Т. Г. Шевченка, зона № 3 (вуличні насадження поблизу магістралей з інтенсивним рухом транспорту) – бульвар Дружби Народів, проспект Науки, Московська площа.

Експрес-діагностику стану рослин проводили за допомогою портативного приладу «Флоратест», який було створено в Інституті кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України. Прилад реєструє індукційні зміни флуоресценції («криву Каутського»), форма якої віддзеркалює перебіг процесів фотосинтезу в хлоропластах листків [1; 15].

Вимірювання здійснювали у п'ятикратній повторюваності, тривалість циклу становила 3 хв. Перед вимірюванням зразки пройшли темнову адаптацію впродовж 30 хв. Статистичну обробку отриманих результатів проводили за допомогою пакета програм Microsoft Office (Excel 2010).

У процесі досліджень реєстрували такі показники флуоресценції:

F_o («фоновий» рівень флуоресценції) – інтенсивність флуоресценції в адаптованих до темноти зразках;

F_{pl} – рівень флуоресценції на час досягнення тимчасового сповільнення зростання її сигналу, так зване «плато»;

F_p – максимальне значення флуоресценції;

F_t – стаціонарний рівень, який характеризується динамічною рівновагою між процесами, які зумовлюють збільшення флуоресценції, та процесами, які призводять до її зменшення. Вище перелічені параметри визначали окомірно за

допомогою побудованої кривої ІФХ. Аналітичним методом було розраховано такі показники:

dF_{pl} – наростання флуоресценції від F_o до F_{pl} ($dF_{pl} = F_{pl} - F_o$);

F_v – варіабельна флуоресценція ($F_v = F_p - F_o$);

dF_{pl} / F_v – за умов інтенсивності збуджуючого світла, що «насихує» фотосинтез, відображає відносну кількість Q_e -невідновлюючих комплексів ФС 2, які не беруть участі у лінійному транспорті електронів;

F_v / F_p – коефіцієнт індукції флуоресценції хлорофілу, відображає частку хлорофілів, що беруть участь у фотосинтезі, від загальної їхньої кількості та визначає ефективність світлової фази фотосинтезу;

$(F_p - F_t) / F_t - Rfd$, або коефіцієнт адаптивності, визначає ефективність темнових фотохімічних процесів.

Результати досліджень. Проведено дослідження фізіологічного стану гіркокаштану м'ясо-червоного в різних урбоекотопах міста Києва (транспортні шляхи, паркові насадження та Національний ботанічний сад).

A. carnea – гібрид, який було отримано у 1818 р. від схрещування гіркокаштана звичайного (*Aesculus hippocastanum* L.) і гіркокаштана червоного (*Aesculus pavia* L.). Вважають, що його було отримано в Німеччині. В Україну (Нікітський ботанічний сад) інтродуковано вперше в 1821 р. [10]. Тростянецький дендропарк був одним із перших центрів інтродукції в Україну цього гібрида у 1960 р. Зустрічається в садах і парках міст України [11].

A. carnea віддає перевагу як сонячним місцям, так і затінку. Зростає на вологих, добре дренованих ґрунтах. Він морозо- та посухостійкий, менш сприйнятливий до хвороб, ніж його «батьки». Використовують у зеленому будівництві в солітерних, групових та алейних посадках [5; 7].

В умовах міста Києва гіркокаштан м'ясо-червоний є малопоширеним видом. Для нього характерна висока оцінка декоративності за рахунок блискучого, темно-зеленого листя та великих рожево-червоних суцвіть, які можна спостерігати у травні–червні у період цвітіння [3].

За результатами вимірів індукційних змін флуоресценції хлорофілу було отримано показники, що характеризують перебіг процесу фотосинтезу та його складових ланок у хлоропластах листків. За аналізом параметрів індукційної кривої та форми її окремих ділянок було визначено вплив чинників навколишнього середовища на рослини (рис.).

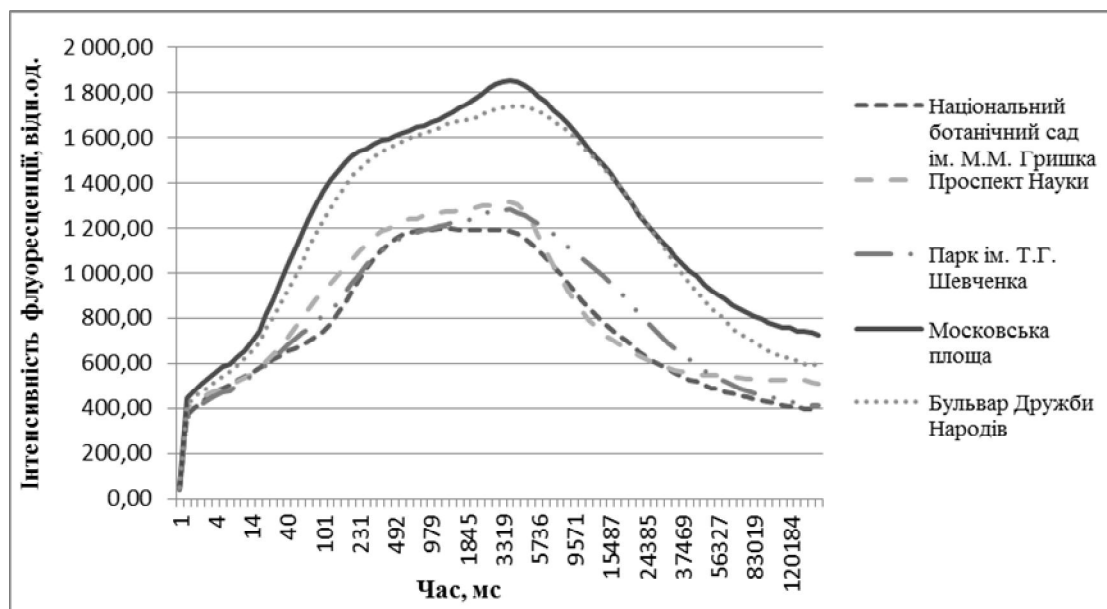


Рис. Крива індукції флуоресценції хлорофілу в листках *A. carneae*

Показник F_o зумовлений емісією світла, що випромінюється хлорофілами, енергія яких не надходить до реакційних центрів. Цей параметр варіюється у межах 384,00–480,00 у. о. (табл.). Як правило, в сприятливих умовах ця величина невелика, що свідчить про активне використання клітинами енергії поглинутого світла.

Показник F_{pl} зумовлений швидким насиченням енергією реакційних центрів ФС 2, які не відновлюють первинний акцептор Q_a , тобто не передають енергію на електрон транспортний ланцюг. Параметр dF_{pl} визначається наростанням флуоресценції від F_o до F_{pl} . Величина, яка є різницею між максимальною флуоресценцією та її вихідним (фоновим) рівнем, отримала назву варіабельної флуоресценції. Співвідношення F_v / F_p характеризує ефективність структури організації пігментної системи ФС 2.

**Параметри функціонального стану листків *A. carnea*
в різних екологічних зонах м. Києва**

Показники функціонального стану	Місцезростання виду				
	Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка	Проспект Науки	Парк ім. Т. Г. Шевченка	Московська площа	Бульвар Дружби Народів
F_o	400,00	421,33	384,00	480,00	448,00
F_{pl}	560,00	576,00	549,33	698,67	646,00
dF_{pl}	160,00	154,67	165,33	218,67	198,00
F_p	1196,80	1317,33	1285,33	1850,67	1738,67
F_v	796,80	896,00	901,33	1370,67	1290,67
dF_{pl}/F_v	0,20	0,17	0,18	0,15	0,15
F_v/F_p	0,67	0,68	0,70	0,74	0,74
F_t	393,60	533,33	410,67	741,33	597,33
$(F_p - F_t) \square F_t$	2,04	1,47	2,12	1,49	1,91

Чуттєвість F_v/F_p до уповільнення світлової фази фотосинтезу робить цей показник ефективним засобом моніторингу стресових впливів навколишнього середовища на рослину [12]. Зниження співвідношення F_v/F_p зумовлено пригніченням ФС 2 і зменшенням частки реакційних центрів ФС 2, не здатних до відновлення Q_e [9]. За отриманими даними, показник коливається у межах 0,67–0,74, що означає доволі високий рівень ефективності фотофізичних процесів поблизу реакційних центрів ФС 2 (за умов експерименту, за інтенсивності збуджуючого світла в межах 80... 100 Вт/м²).

Показник F_p характеризує найвищий рівень флуоресценції і відображається у вигляді максимуму на індукційній кривій. Він є найбільш варіабельним, оскільки це зумовлено адаптивними змінами в структурі пігментного комплексу до умов освітлення. Зростання F_p відбувається за умов недостатньої інсоляції, коли процес фотосинтезу лімітується інтенсивністю світла, що надходить до рослини. Останнє зумовлює збільшення хлорофілів антенного комплексу і, як наслідок, зростання емісії флуоресценції на 10–50 % [8]. Як видно з таблиці, значення цього показника суттєво відрізняються, що обумовлено різними умовами місця зростання представників досліджуваного виду. Високі показники характерні для об'єктів на бульварі Дружби Народів та

Московській площі. У першому випадку дерево притінене іншими рослинами, у другому – екземпляр зростає в тіні, доступ світла обмежений розташованою поряд десятиповерховою будівлею.

Перевищення рівня dF_{pl} / F_v вище ніж 0,4 (за умов низької інтенсивності збуджуючого світла) вказує на високий рівень вірогідності ураження рослини вірусною інфекцією [6]. Розрахований коефіцієнт лежить у межах 0,15–0,2 у. о., що свідчить про те, що досліджувані рослини не інфіковані.

Параметр Rfd характеризує ефективність фотосинтетических процесів, а саме темнову фіксацію CO_2 (цикл Кальвіна). Він також отримав назву «індекс життєздатності». Темнові процеси фотосинтезу більш чутливі до впливу чинників навколишнього середовища, тому параметри, які їх характеризують, використовують для оцінки впливу екологічного стресу на рослини [9]. Для екземплярів ботанічного саду і паркової зони цей показник перебуває у межах 2,04 – 2,12 у. о., що вказує на високу інтенсивність фотохімічних процесів у цих рослин. З посиленням дії стресового фактора «індекс життєздатності», як правило, зменшується. Зниження цього параметра до 1,47–1,91 у. о. відображає негативний вплив умов вуличних посадок на ефективність перебігу циклу Кальвіна.

Висновки. У результаті досліджень було визначено показники, які відображають перебіг процесу фотосинтезу представників *A. carnea* в різних урбоекотопах міста Києва. За змінами ІФХ листків охарактеризовано вплив урбанізованого середовища на ефективність проходження світлових фаз фотосинтезу та фотохімічних процесів темної фази залежно від місця зростання рослин.

Ознак бактеріальних і вірусних захворювань виявлено не було. Встановлено вплив недостатньої інсоляції в умовах міста, що є фактором, який обмежує фотосинтез і спричиняє адаптивні зміни в хлоропластах листків, збільшення хлорофілів антенного комплексу і, як наслідок, зростання емісії флуоресценції на 10... 50 %.

За умов антропогенного навантаження за зменшення на 25 % «індексу життєздатності» (параметр *Rfd*) визначено зниження інтенсивності темнових фотохімічних процесів у хлоропластах листків при переході від зони № 1 до зони № 3. Отже, досліджуваний вид характеризується як відносно стійкий в умовах міста Києва.

Список використаних джерел

1. Брайон О. В. Інструментальне вивчення фотосинтетичного апарату за допомогою індукції флуоресценції хлорофілу. Методичні вказівки для студентів біологічного факультету / О. В. Брайон, Д. Ю. Корнєєв, О. О. Снегур, О. І. Китаєв. – К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2000. – 15 с.
2. Венедиктов П. С. Использование флуоресценции хлорофилла для контроля физиологического состояния зеленых насаждений в городских экосистемах / П. С. Венедиктов, С. Л. Волгин, Ю. В. Казимирко // Биофизика. – 1999. – Т. 44, № 6. – С. 1037–1047.
3. Євтушенко Ю. В. *Aesculus carnea* Наупе в насадженнях міста Києва / Ю. В. Євтушенко // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук. праць. – 2015. – Вип. 25.3. – С. 44–50.
4. Заворуєва Е. Н. Динамика флуоресценции и концентрации хлорофиллов листьев берез, растущих вблизи автомобильных дорог / Е. Н. Заворуєва, В. В. Заворуєв // Вестник КрасГАУ. – 2010. – Вип. 9. – С. 129–133.
5. Заячук В. Я. Дендрологія : підручник / В. Я. Заячук. – Львів : Априорі, 2008. – 656 с. : іл.
6. Кирик М. М. Діагностика вірусної інфекції смородини чорної та малини методом індукції флуоресценції хлорофілу листків / М. М. Кирик, Ю. М. Таранухо, М. П. Таранухо, О. І. Китаєв, В. А. Скрыга, Д. М. Артеменко // Вісник аграрної науки : зб. наук. праць. – 2011. – Вип. 10. – С. 26–28.
7. Колесников А. И. Декоративная дендрология / А. И. Колесников. – М. : Лесн. пром-сть, 1974. – 704 с.
8. Лукаткин А. С. Экологическая оценка состояния древесных растений г. Саранска по флуоресценции хлорофилла / А. С. Лукаткин, В. В. Ревин, Д. И. Башмаков, Т. Е. Кренделева, Т. К. Антал, А. Б. Рубин // Поволжский экологический журнал. – 2011. – № 1. – С. 87–92.
9. Лысенко В. С. Флуоресценция хлорофилла растений как показатели экологического стресса: теоретические основы применения метода / В. С. Лысенко, Т. В. Вардуни, В. Г. Соєер, В. П. Краснов // Фундаментальные исследования. Биологические науки. – 2013. – № 4. – С. 112–120.
10. Медведєв В. А. Підсумки інтродукції деревних декоративних рослин у рівнинно-пейзажний район дендропарку «Тростянець» / В. А. Медведєв, О. О. Ільєнко // Інтродукція рослин. – 2012. – № 1. – С. 78–93.
11. Мисник Г. Е. Деревья и кустарники дендропарка «Тростянець» / Г. Е. Мисник. – К. : Изд-во АН УССР, 1962. – 179 с.

12. Нестеренко Т. В. Индукция флуоресценции хлорофилла и оценка устойчивости растений к неблагоприятным воздействиям / Т. В. Нестеренко, А. А. Тихомиров, В. Н. Шихов // Журнал общ. биологии. – 2007. – Т. 68, № 6. – С. 444–458.

13. Пиняскина Е. В. Изучение флуоресцентных показателей фотосинтетической активности берез в зависимости от вертикальной зональности / Е. В. Пиняскина, А. Т. Маммаев, М. Х.-М. Магомедова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 6. – С. 248–252.

14. Рубин А. Б. Биофизические методы в экологическом мониторинге / А. Б. Рубин // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – Т. 6, № 4. – С. 7–13.

15. Спосіб визначення фізіологічного стану рослин методом індукції флуоресценції хлорофілу. Деклараційний патент України на корисну модель МПК А01Н 4/00 / В. О. Шерер, Є. В. Сарахан. – № u200612341; заявл. 24. 11. 2006; опубл. 25. 07. 2007, Бюл. № 11.

16. Хвостов О. О. Вплив аерогенного забруднення на вміст пластидних пігментів у листках деревної рослинності м. Запоріжжя / О. О. Хвостов, В. Д. Бовт, В. Д. Капелюш // Вісник Запорізького національного університету : збірник наук. праць. – 2011. – № 2. – С. 125–131.

17. Яковлева О. В. Изучение параметров флуоресценции хлорофилла в листьях травянистых растений, растущих в разных экологических условиях / О. В. Яковлева, Е. В. Талипова, Г. П. Кукарских // Биофизика. – 2005. – № 6. – С. 1112–1119.

18. Ali N. A. Inhibition of Photosystem II Photochemistry by Cr is Caused by the Alteration of both D₁ Protein and Oxygen Evolving Complex / N. A. Ali, D. Dewez, O. Didur // Photosynthesis Research. – 2006. – Vol. 89, Issue 2. – P. 81–87.

19. Horton P. Chlorophyll Fluorescence Transients / P. Horton, JR. Bowyer // Methods in Plant Biochemistry. – 1990. – № 102. – P. 259–296.

20. Krause G. H. Chlorophyll Fluorescence and Photosynthesis: The Basics / G. H. Krause, E. Weis // Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. – 1991. – Vol. 42. – P. 313–349.

21. Krüger G. H. Light Stress Provokes Plastic and Elastic Modifications in Structure and Function of Photosystem II in Camellia Leaves / G. H. Krüger, M. Tsimilli-Michael, R. J. Strasser // Physiology Plantarum. – 1997. – Vol. 101, Issue 2. – P. 265–277.

22. Maxwell K. Chlorophyll Fluorescence – A Practical Guide / K. Maxwell, G. Jonson // Journal of Experimental Botany. – 2000. – Vol. 51. – P. 659–668.

23. Srivastava A. Regulation of Antenna Structure and Electron Transport in Photosystem II of *Pisum Sativum* under Elevated Temperature Probed by the Fast Polyphasic Chlorophyll \square Fluorescence Transient OKJIP / A. Srivastava, B. Guissé, H. Greppin, R. J. Strasser // Biochimica et Biophysica Acta (BBA). Bioenergetics. – 1997. – Vol. 1320, Issue 1. – P. 95–106.

References

1. Brajon, O. V., Korneev, D. Y., Snegur, O. O., Kitaev, O. I. (2000). Instrumentalne vvychennia fotosyntetychnoho aparatu za dopomohoiu induktsii fluorestsentsii khlorofilu. Metodychni vkazivky dlia studentiv biolohichnoho fakultetu [Instrumental study of the photosynthetic apparatus using chlorophyll fluorescence induction. Methodical instructions for students of biological faculty]. Kiev, 15.
2. Venediktov, P. S., Volgin, S. L., Kazimirko, Y. V. (1999). Yspol'zovanye fluorestsentsyy khlorofylla □ dlya kontrolya fyziolohycheskoho sostoyannya zelenykh nasazhdenyy v horodskykh ekosystemakh [Using chlorophyll □ fluorescence for monitoring the physiological state of green plantations in urban ecosystems]. Biophysics, 44 (6), 1037–1047.
3. Evtushenko, Y. V. (2015). *Aesculus carnea* Hayne v nasazhenniakh mista Kyieva [*Aesculus carnea* Hayne in plantations of Kiev]. Scientific Bulletin of UNFU, 25.3, 44–50.
4. Zavorueva, E. N., Zavoruev, V. V. (2010). Dynamyka fluorestsentsyy y kontsentratsyy khlorofylov lyst'ev berez, rastushchykh vblyzy avtomobyl'nykh doroh [The dynamics of the fluorescence and the concentration of leaves chlorophyll of birch growing near roads]. Bulletin of KrasGAU, 9, 129–133.
5. Zaychuk, V. J. (2008). Dendrolohiya [Dendrology]. Lviv, 656.
6. Kirik, M. M., Taranukho, Y. M., Taranukho, M. P., Kitaev, O. I., Skryaga, V. A., Artemenko, D. M. (2011). Diahnostyka virusnoi infektsii smorodyny chornoj ta malyny metodom induktsii fluorestsentsii khlorofilu lystkiv [Diagnosis of black currant and raspberry viral infection by induction of chlorophyll fluorescence method]. Journal of Agricultural Science, 10, 26–28.
7. Kolesnikov, A. I. (1974). Dekoratyvnaia dendrolohiya [Decorative dendrology]. Lesnaya promyshlennost', 704.
8. Lukatkin, A. S., Rewin, V. V., Bashmakov, D. I., Krendeleva, T. E., Antal, T. K., Rubyn, A. B. (2011). Ekolohycheskaya otsenka sostoyannya drevesnykh rastenyy h. Saranska po fluorestsentsyy khlorofylla [The ecological assessment of the woody plants state of Saransk by chlorophyll fluorescence]. Povolzhskiy Journal of Ecology, 1, 87–92.
9. Lysenko, V. S., Varduni, T. V., Sowyer, V. G., Krasnov, V. P. (2013). Fluorestsentsyya khlorofylla rastenyy kak pokazately ekolohycheskoho stressa: teoretycheskye osnovy pryomenenyya metoda [The chlorophyll fluorescence of plants as indicators of environmental stress: the theoretical foundations of the method]. Fundamental research. Biological sciences, 4, 112–120.
10. Medvedev, V. A., Ilyenko, O. O. (2012). Pidsumky introduktsii derevnykh dekoratyvnykh roslyn u rivnyнно-peizazhnyi raion dendroparku “Trostianets” [The results of introduction of woody ornamental plants in the plain landscape area of the arboretum “Trostianets”]. Introduction of plants, 1, 78–93.
11. Mysnyk, G. E. (1962). Derev'ya y kustarnyky dendroparka “Trostyanets” [Trees and shrubs of arboretum “Trostyanets”]. Kiev, 179.
12. Nesterenko, T. V., Tikhomirov, A. A., Shikhov, V. N. (2007). Ynduktsyya fluorestsentsyy khlorofylla y otsenka ustoychyvosty rastenyy k neblahopryyatnym

vozdeystvyiam [The induction of chlorophyll fluorescence and assessment of plant resistance to adverse influences]. *Journal of general biology*, 68 (6), 444–458.

13. Pinyaskina, E. V., Mammaew, A. T., Magomedova, M. H.-M. (2015). Yzuchenye fluorestsentnykh pokazateley fotosyntetycheskoy aktyvnosti berez v zavysymosti ot vertykal'noy zonal'nosti [The study of fluorescent indicators of birches photosynthetic activity depending on the vertical zoning]. *Journal of "Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences"*, 17 (6), 248–252.

14. Rubin, A. B. (2000). Byofyzycheskiye metody v ekolohycheskom monitorynhe [Biophysical methods in ecological monitoring]. *Sorosovskyy Educational Journal*, 6 (4), 7–13.

15. Scherer, I. N., Sarahan, E. V. The method of determining the physiological state of plants by chlorophyll fluorescence induction. Patent of Ukraine for useful model. A01H 4/00. № u200612341; declared 24. 11. 2006; published 25. 07. 2007, № 11.

16. Khvostov, O. O., Bovt, V. D., Kapeliush, V. D. (2011). Vplyv aerohennoho zabrudnennia na vmist plastydneykh pihmentiv u lystkakh derevnoi roslynnosti m. Zaporizhzhia [The impact of aerogenic pollution on plastid pigments content in leaves of woody vegetation of Zaporizhzhya]. *Visnyk Zaporizhzhya National University*, 2, 125–131.

17. Yakovleva, O. V., Talipova, E. V., Kukarskikh, G. P. (2005). Yzuchenye parametrov fluorestsentsyy khlorofylla v lyst'yakh travyanistykh rastenyy, rastushchykh v raznykh ekolohycheskykh uslovyakh [The study of the chlorophyll fluorescence parameters in leaves of herbaceous plants, growing in different ecological conditions]. *Biophysics*, 6, 1112–1119.

18. Ali, N. A., Dewez, D., Didur, O. (2006). Inhibition of Photosystem II Photochemistry by Cr is Caused by the Alteration of both D₁ Protein and Oxygen Evolving Complex. *Photosynthesis Research*, 89 (2), 81–87.

19. Horton, P., Bowyer, J. R. Chlorophyll Fluorescence Transients. (1990). *Methods in Plant Biochemistry*, 102, 259–296.

20. Krause, G. H., Weis, E. (1991). Chlorophyll Fluorescence and Photosynthesis: The Basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 42, 313–349.

21. Krüger, G. H., Tsimilli-Michael, M., Strasser, R. J. (1997). Light Stress Provokes Plastic and Elastic Modifications in Structure and Function of Photosystem II in *Camellia* Leaves. *Physiology Plantarum*, 101 (2), 265–277.

22. Maxwell, K., Jonson, G. (2000). Chlorophyll Fluorescence – A Practical Guide. *Journal of Experimental Botany*, 51, 659–668.

23. Srivastava, A., Guissé, B., Greppin, H., Strasser, R. J. (1997). Regulation of Antenna Structure and Electron Transport in Photosystem II of *Pisum Sativum* under Elevated Temperature Probed by the Fast Polyphasic Chlorophyll □ Fluorescence Transient OKJIP. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA). Bioenergetics*, 1320 (1), 95–106.

**ДИАГНОСТИКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА AESCULUS CARNEA HAYNE
МЕТОДОМ ИНДУКЦИИ ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА**

Ю. В. Евтушенко, С. Б. Ковалевский, О. И. Китаев

Аннотация. Метод индукции флуоресценции хлорофилла является экспрессным и информативным методом диагностики фотосинтетических процессов в растительных организмах. Он позволяет продемонстрировать адаптационные изменения механизма фотосинтеза, которые возникают в связи с повышением уровня антропогенной нагрузки. Целью исследований был анализ диагностических показателей изменений функционального состояния листьев каштана конского мяско-красного в разных урбоэкотопах города Киева. Исследования были проведены в июне 2016 г. в лаборатории физиологии растений и микробиологии Института садоводства НААН Украины. Изучение функционального состояния пигментного комплекса листового аппарата представителей *Aesculus carnea* Hayne проводили с помощью портативного прибора «Флоратест». В результате проведения исследований определено влияние условий урбанизированной среды на отдельные параметры течения процесса фотосинтеза. Установлено, что признаки бактериальных и вирусных заболеваний в исследуемых растений отсутствуют. В условиях роста уровня антропогенной нагрузки происходит снижение интенсивности темновых фотохимических процессов в хлоропластах листьев. В условиях города Киева каштан конский мяско-красный характеризуется достаточной толерантностью к действию негативных факторов окружающей среды

Ключевые слова: *Aesculus carnea* Hayne, индукция флуоресценции хлорофилла листьев, фотосинтез, антропогенные факторы.

**DIAGNOSIS OF THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS FUNCTIONAL
STATE OF AESCULUS CARNEA HAYNE BY CHLOROPHYLL
FLUORESCENCE INDUCTION METHOD**

Y. Evtushenko, S. Kovalevsky, O. Kitayev

Abstract. The method of chlorophyll fluorescence induction is a rapid and informative method of photosynthetic processes diagnostics in plant organisms. It allows to demonstrate the adaptive changes of photosynthesis mechanism that arise due to the increased levels of anthropogenic activity. The aim of the research was to analyze the diagnostic indicators of changes in the functional state of red horse chestnut leaves in different zones of Kiev. Studies were conducted in June 2016 in the Laboratory of Plant Physiology and Microbiology of the Institute of Horticulture of the NAAS of Ukraine. The study of the functional state of the pigment complex of *Aesculus carnea* Hayne leaf apparatus was performed using portable device "Floratest". As a result of the research the impact of urbanized environment on individual parameters of photosynthesis process was determined. It is established that there were no signs of bacterial and viral diseases in studied plant. In the conditions of anthropogenic load increasing the decrease of intensity of dark

photochemical processes in leaves chloroplasts occurs. Red horse chestnut is characterized by a sufficient tolerance to the negative environmental factors.

Keywords: *Aesculus carnea Hayne, induction of chlorophyll fluorescence of leaves, photosynthesis, anthropogenic factors.*