

УДК 582.542.12 : 612.015.4

© В. Г. Миколайчук, О. М. Вергун, Д. Б. Рахметов
**ДИНАМІКА ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ ЗАЛЕЖНО ВІД РОСТУ
ТА РОЗВИТКУ РОСЛИН *CYPERUS ESCULENTUS* L. ПРИ ІНТРОДУКЦІЇ
В ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка НАН України
01014, м. Київ, вул. Тімірязєвська, 1; e-mail: mikolaychuk07@mail.ru

Миколайчук В. Г., Вергун О. М., Рахметов Д. Б. Динаміка фотосинтетичних пігментів рослин *Cyperus esculentus* L. при інтродукції в Правобережному Лісостепу України. – Подано результати досліджень динаміки фотосинтетичних пігментів *Cyperus esculentus* L. протягом вегетації. Встановлено відмінності вмісту хлорофілів та каротиноїдів у різних клонів рослин при інтродукції в Правобережному Лісостепу України. Максимальне співвідношення хлорофілів відмічено в фазу формування бульб (8,4-10,3). Спостерігалось зменшення каротиноїдів у кінці вегетації. Найбільше співвідношення $\Sigma Chl/car$ встановлено у зразків сорту Фараон у кінці вегетації (3,77).

Ключові слова: *Cyperus esculentus*, ортотропні вегетативні пагони, парцели, фотосинтетичний пігмент, хлорофіл, каротиноїди.

Вступ

Cyperus esculentus L. (чуфа, смикавець їстівний) – малопоширений трав'янистий монокарпик родини Cyperaceae, який походить з долини Білого Нілу і введений в культуру жителями Стародавнього Єгипту ще з III тис. до н. е., до цього часу не втрачає свого значення [3, 4, 6]. *C. esculentus* належить до підродини Cyperoideae триби Cyperae Nees. підтриби Cyperinae [25, 32], є лектотипом роду. Вид має ряд синонімів: *Cyperus aureus* Ten., *C. melanorrhizum* Del., *C. hydra* Н.В.К. (non Mich.), *C. nervosus* Roem. et Schult., *C. tenorii* Presl., *C. tenorianus* Schult., *C. sieberianus* Link (non Spreng.), *C. fenzelianus* C. B. Clarke, *Chlorocyperus aureus* Palla, *Ch. esculentus* Palla [3, 6, 25].

C. esculentus відомий як багаторічний полікарпик, при інтродукції в помірній зоні є трав'янистим однорічником з моноциклічними ортотропними вегетативними і генеративними надземними пагонами, плагіотропними кореневищами, столонами і бульбами [2, 15].

Ортотропні пагони формуються за рахунок листків. Велике значення для процесу фотосинтезу рослин відіграють серединні листки. У рослин *C. esculentus* вони сидячі, стеблеобгортні, формуються в пучку від периферії до центру. Листки з листовими пластинками, вузькі, довгі, паралельнонервові, зеленого забарвлення, без опушення, досягають довжини 50-72 см. Їх розміщення на рослині, кількість та кут відхилення важливі для формування архітекtonіки посівів [2, 6, 4].

Вирощують рослини переважно для отримання бульб, що мають приємний солодкий смак та високу поживність. Чуфа є перспективною і практично безвідходною культурою для різних галузей харчової та переробної промисловості, тваринництва тощо. Бульби містять 15-36% жирної олії (ліпідів), до складу якої входить 18% насичених (переважно пальмітинова і стеаринова) і 82% ненасичених (переважно олеїнова і ліноленова) жирних кислот, 20-35% – крохмалю, 12-28% – цукрів, 5-9% – білку, до 24% клітковини, ферменти, вітаміни А, Е і мікроелементи [4, 6, 13, 14, 28, 30-33].

Завдяки збалансованому вмісту речовин бульби чуфи вважають перспективними для виробництва продуктів дитячого, дієтичного і спеціального призначення. Вони використовуються у фармакології для лікування і профілактики гіпертонії, цукрового діабету, стресових станів, варикозів, СНІДу тощо [1, 13, 17, 27, 33].

Культуру вирощують у Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка (НБС) з 1945 р. Колекційний фонд відділу нових культур НБС нараховує два сорти чуфи української селекції та сім клонів різного походження. Проводяться дослідження з встановлення морфологобіологічних та біохімічних особливостей, продуктивності рослин, клонових відмінностей та селекційні роботи [14].

Протягом вегетації рослини *C. esculentus* проходять фази розвитку: відростання (1-а декада червня), парцеляція (3-я декада червня), формування бульб (3-я декада липня), закінчення вегетації (1-а декада жовтня).

Для встановлення потенціалу продуктивності культури необхідно дослідити його пігментний апарат: вміст хлорофілів, каротиноїдів та їх співвідношення. Система фотосинтетичних пігментів асиміляційного апарату рослин формується залежно від генотипу, екологічних умов і стадії розвитку рослини [10, 21]. Вміст хлорофілів у листку є однією з найвиразніших характеристик адаптації фотосинтетичного апарату рослин до умов природного середовища та свідчить про пристосованість до певної інтенсивності освітлення [9, 10, 19, 29].

Система жовтих пігментів, яка включає каротиноїди, відображує рівень стійкості пластидного апарату до стресових факторів [16]. Каротиноїди виконують важливу фотопротекторну функцію в процесі фотосинтезу та їх вміст в рослинах збільшується в умовах стресу [20, 24]. Їх роль пов'язана з активністю провітаміну А, антиоксидантними та імуномодельючими властивостями [22]. Співвідношення суми хлорофілів до вмісту каротиноїдів є важливим показником, що відображує віковий стан рослини. Відомо, що в нормальних умовах їх співвідношення для світлових рослин становить 4,2-5,0, для темнових – 5,5-7,0. Низькі показники цього співвідношення є індикатором старіння, стресу чи пошкодження рослин і фотосинтетичного апарату, що пов'язане із зниженням вмісту хлорофілів [26].

Переважає більшість біохімічних досліджень культури стосується підземних органів (бульб), у той час як залишаються маловивченими особливості фотосинтетичного апарату рослин. Дослідження динаміки пігментного апарату надземних органів рослин *C. esculentus* на рівні клонів в Україні проводилися вперше.

Матеріал і методи дослідження

Об'єктом досліджень були сорт Фараон, створений у відділі нових культур НБС у 2008 р., та два перспективні клони з різними властивостями: скоростиглістю (К-1), високою врожайністю бульб та технологічністю збору (К-2). За біохімічними показниками бульби всіх зразків відповідають стандартам ЄС [32].

Ділянки, на яких вирощували *C. esculentus*, розміщувалися рендомізовано, повторність чотирикратна. Дослідження динаміки ростових показників рослин (висота, ширина підгону, кількість парцел) проводили протягом вегетації за фазами розвитку за рекомендаціями Н. Ф. Сергеевої [15] та «Методикой фенологических наблюдений в ботанических садах» [11]. Відбір зразків проводили за методикою Б. А. Доспехова [5]. Статистичну обробку отриманих експериментальних даних проводили в MS Excel 7.0, використовуючи методики Г. М. Зайцева [7, 8].

Дослідження вмісту фотосинтетичних пігментів *C. esculentus* проводили спектрофотометрично (2800 UV/VIS Spectrophotometer, Unico), застосовуючи ацетонові витяжки рослинної сировини. Концентрацію пігментів (Chl *a*, Chl *b*, car) обраховували за Ліхтенталером [12].

Результати та обговорення

Тривалість вегетації рослин *C. esculentus* становить 150-160 діб. Проходження фаз розвитку рослинами різних клонів істотно не відрізнялися, лише для клону 1 в'янення і засихання надземних органів відбувалися на 5-8 діб раніше, ніж у інших зразків.

У результаті досліджень встановлено, що для всіх зразків рослини *C. esculentus* характерне інтенсивне збільшення висоти протягом вегетації в період від відростання до формування бульб (рис. 1); найбільш інтенсивно відбувається в рослин К-1, найменш інтенсивно – у с. Фараон (в 5,04 та 4,56 рази відповідно).

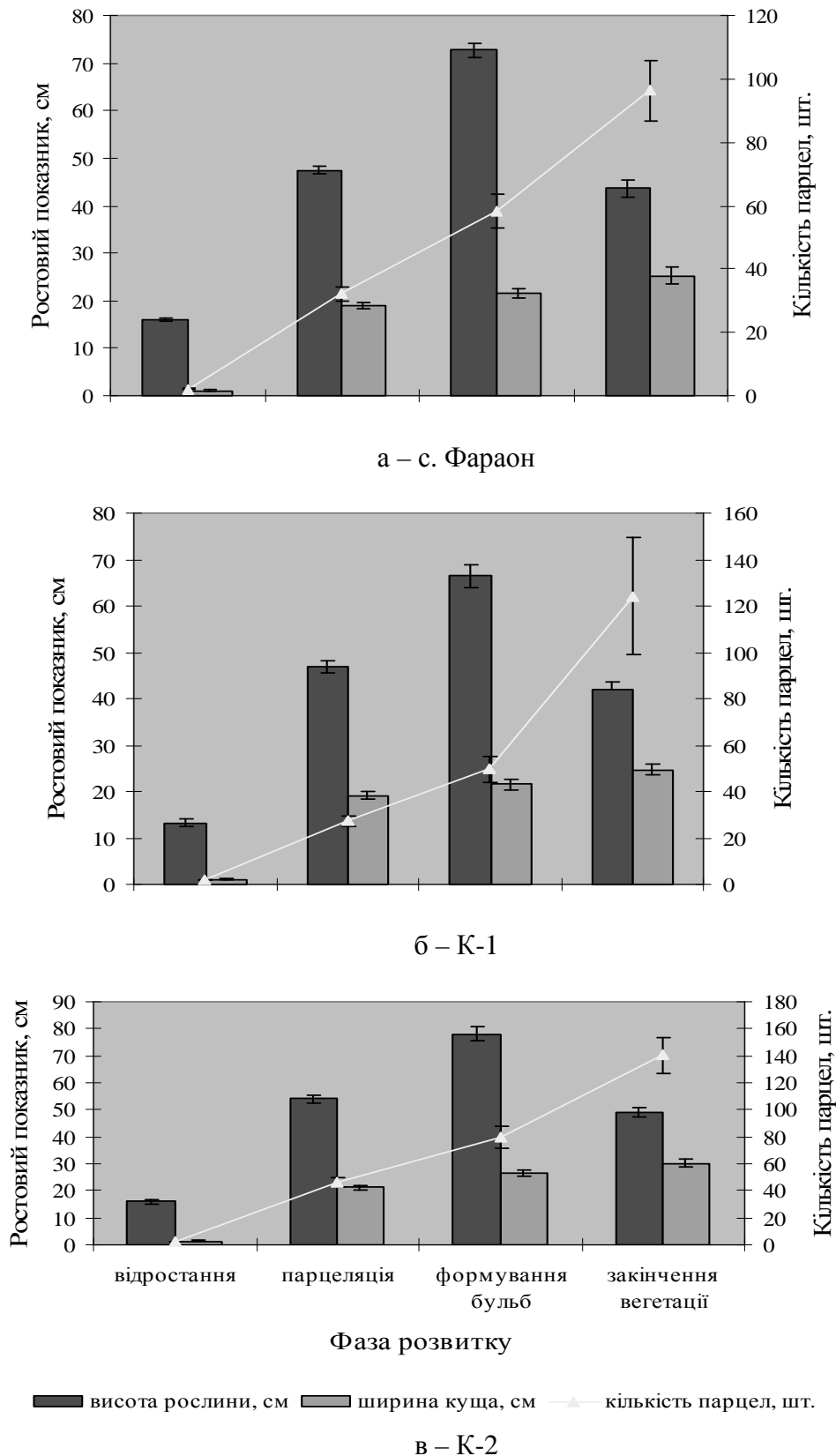


Рис. 1. Динаміка росту рослин *C. esculentus* протягом вегетації.

Максимальної ширини підгону рослини (ширини куща) досягають в жовтні, що пов'язано із збільшенням кількості парцел більших порядків та їх відцентровим наростанням. У зразків рослин інтенсивність збільшення ширини підгону від відростання до закінчення вегетації відрізняється: максимальний коефіцієнт збільшення (співвідношення між шириною в кінці та на початку вегетації) характерний для с. Фараон, а більш компактні

кущі в рослин клону 2 (23,4 та 21,8). Найбільша ширина формується в рослин клону 2, що на 18,2% більше, ніж у клону 1, та на 16,6%, ніж у с. Фараон (див. рис. 1).

Максимальна кількість парцел формується в кінці вегетації рослин і має клонові відмінності: найбільші показники характерні для рослин клону 2, що на 31,5% більше, ніж с. Фараон, та на 18,6% – ніж клону 1.

Дослідженнями пігментного складу асиміляційного апарату *C. esculentus* встановлено особливості вмісту хлорофілів та каротиноїдів в різних зразках культури протягом вегетації.

Виявлено, що вміст хлорофілів *a* та *b* у клонів 1 та 2 збільшувався в період між фазами парцеляції та формування бульб, після чого спостерігалось його зменшення до закінчення вегетації (рис. 2). Отримані результати свідчать про те, що пігментний апарат рослин має найбільші показники в період активної вегетації і запасання поживних речовин. У зразків сорту Фараон зафіксовано зворотну реакцію в накопиченні цих пігментів. Найбільшим вмістом суми хлорофілів відрізнялися рослини с. Фараон у фазі парцеляції, найменшим – клону 1 у фазі закінчення вегетації. Це пов'язане з тим, що останній зразок має коротший період вегетації.

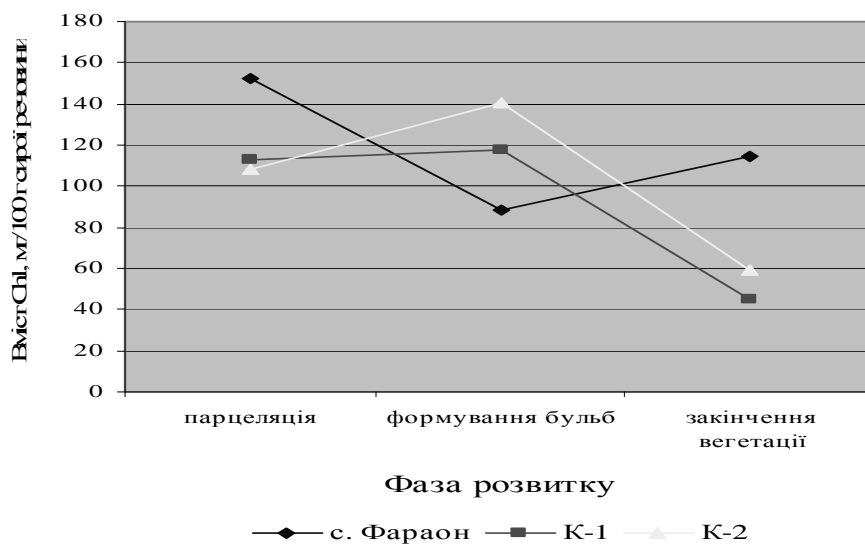


Рис. 2. Вміст суми хлорофілів рослин *C. esculentus* залежно від фази розвитку.

Співвідношення концентрації хлорофілу *a* до концентрації хлорофілу *b* є індикатором функціональності пігментного складу та світлової адаптації фотосинтетичного апарату. Зміна співвідношення хлорофілів відбувається в основному за рахунок лабільності хлорофілу *a* [16, 18, 23]. У рослин, що зростають в умовах затемнення, співвідношення концентрації хлорофілів нижче, ніж у світлових рослин. Теоретично вважається оптимальним співвідношення хлорофілів *a/b* у темнових рослин 2,5-2,9, у світлових – 3,2-4,0 [26].

Встановлено, що максимальне співвідношення хлорофілів характерне для усіх зразків в період формування бульб, яке становило від 8,4 (с. Фараон) до 10,3 (клон 2). Мінімальне співвідношення характерне для рослин усіх зразків у фазі закінчення вегетації, і воно становило від 0,7 до 1,9 (рис. 3). Для клону 2 характерні вищі, порівняно з іншими зразками, показники співвідношення хлорофілів протягом всієї вегетації.

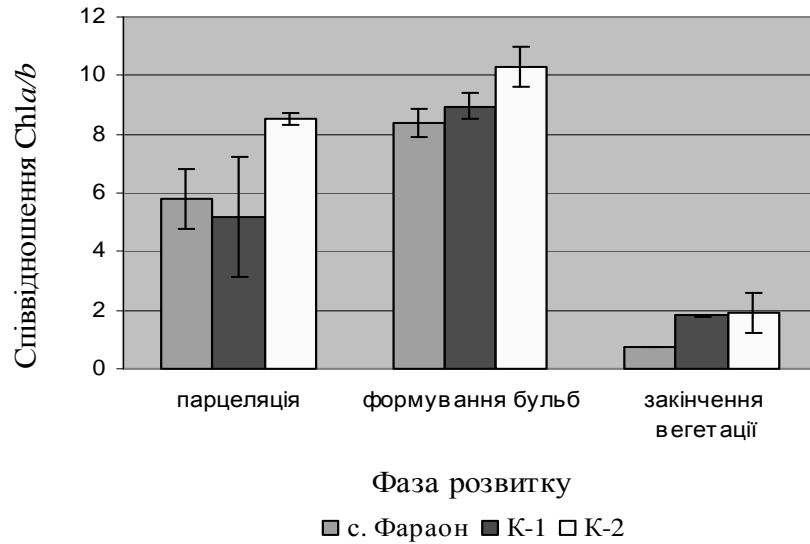


Рис. 3. Співвідношення хлорофілів рослин *C. esculentus* залежно від фази розвитку.

Отримані результати свідчать про те, що рослини *C. esculentus* є світловими, вони здатні ефективно використовувати світлову енергію завдяки високій концентрації хлорофілів.

Для всіх зразків характерне зменшення каротиноїдів у фазі закінчення вегетації, але протягом вегетаційного сезону між зразками існують відмінності. Вміст каротиноїдів у клонів 1 та 2 збільшувався в період між фазами парцеляції та формування бульб й був максимальним в фазі формування бульб, після чого спостерігалось його зменшення (рис. 4). У с. Фараон зафіксовано поступове зменшення вмісту каротиноїдів протягом вегетації. Найбільшим вмістом каротиноїдів відрізнялись клон 2 у фазі формування бульб, найменшим – клон 1 у кінці вегетації.

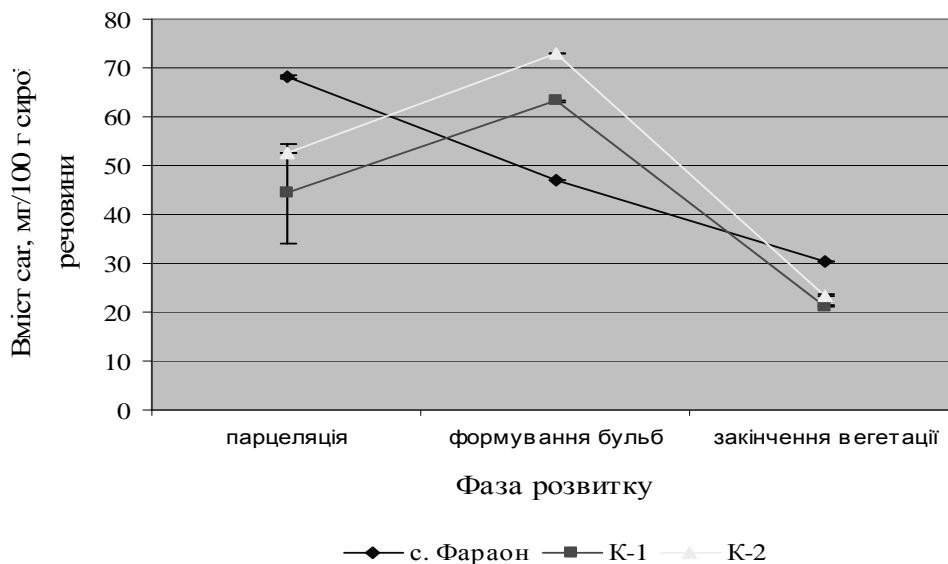


Рис. 4. Вміст каротиноїдів у надземних органах зразків рослин *C. esculentus* залежно від фази розвитку.

У результаті дослідження співвідношення між вмістом хлорофілів та каротиноїдів у різних зразків протягом вегетації встановлено, що найбільше співвідношення хлорофілів до каротиноїдів спостерігалось у зразків сорту Фараон у кінці вегетації (рис. 5). Для клону 1 найбільші показники спостерігаються у фазі парцеляції, в подальшому вони незначно зменшуються. Для клону 2 характерні незначні зміни протягом вегетації. У цілому

співвідношення між вмістом хлорофілів і каротиноїдами становило від 1,86 у клона 1 (фаза формування бульб) до 3,77 у с. Фараон (фаза закінчення вегетації).

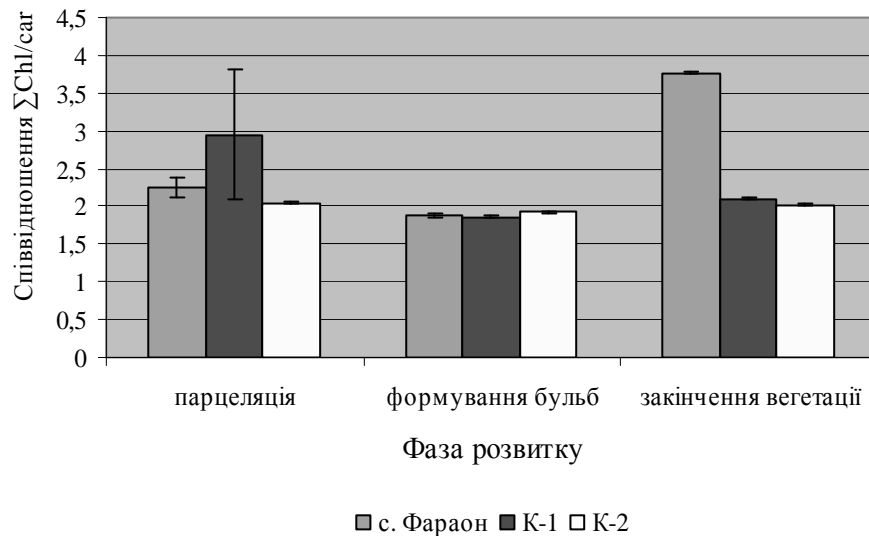


Рис. 5. Співвідношення суми хлорофілів та каротиноїдів у надземних органах рослин *C. esculentus* протягом вегетації залежно від клонових особливостей.

Висновки

У результаті досліджень пігментного апарату рослин *C. esculentus* при інтродукції в Правобережному Лісостепу України встановлено, що він залежить від фаз розвитку рослин, тривалості вегетації та клонових особливостей. У період активної вегетації для всіх зразків характерні високі показники співвідношення між хлорофілами *a* і *b*. Співвідношення між сумою хлорофілів та каротиноїдами в усіх зразках *C. esculentus* протягом вегетації було невисоким, що свідчить про несприятливі умови росту або є ознакою старіння рослин.

Список літератури

1. Адаптоген стресскорректор [текст] / Ю. Н. Чернов и др. – М., 2001. – Пат. РФ № 2176516.
2. Алексеев Ю. Е. Осоки: морфология, биология, эволюция / Ю. Е. Алексеев. – М.: Агрус, 1996. – 215 с.
3. Вульф Е. В. Мировые ресурсы полезных растений: справочник / Е. В. Вульф, О. Ф. Малеева. – Л.: Наука, 1969. – 565 с.
4. Голицын С. В. Чуфа – новое культурное растение для СССР: научное наследие / С. В. Голицын. – Воронеж: Научная книга, 2010. – 147 с.
5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 350 с.
6. Жуковський П. М. Культурные растения и их сородичи (систематика, экология, использование, происхождение, использование) / П. М. Жуковський. – Л.: Колос, 1971. – 751 с.
7. Зайцев Г. Н. Фенология травянистых многолетников / Г. Н. Зайцев. – М.: Наука, 1978. – 149 с.
8. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев. – М.: Наука, 1984. – 424 с.
9. Лукьянова Л. М. Эколого-физиологические аспекты изучения пигментной системы растений. II. Влияние эколого-географических условий и систематической принадлежности растений / Л. М. Лукьянова // Ботан. журн. – 1982. – Т. 67, № 4. – С. 409–418.
10. Маргітай Л. Аналіз результатів спектрофотометричного дослідження вмісту фотосинтезу вальних пігментів у листках рослин із застосуванням комп'ютерних програм /

- Л. Маргітай, Б. Паляниця, О. Терек // Вісник Львівського університету. Сер. біол. – 2006. – Вип. 41. – С. 123–131.
11. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. – М.: Изд-е ГБС АН СССР. – 1972.
12. Мусієнко М. М. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин / М. М. Мусієнко. – К.: Фітосоціоцентр, 2001. – 200 с.
13. Окладников Ю. Н. Включение в рацион человека чуфы как источника полиненасыщенных жирных кислот / Ю. Н. Окладников // Вопросы питания. – 1977. – № 3. – С. 45–48.
14. Рахметов Д. Чуфа – перспективна культура комплексного використання / Д. Рахметов, С. Рахметова, В. Миколайчук // Пропозиція. – 2008. – № 11. – С. 54–56.
15. Сергеева Н. Ф. К биологии чуфы (*Cyperus esculentus*) / Н. Ф. Сергеева // Науч.-произв. сб. ВНИИМК. – Краснодар: Изд-во ВНИИМК, 1933. – № 4. – С. 40–48.
16. Стржалка К. Каротиноиды растений и стрессовое воздействие окружающей среды: роль модуляции физических свойств мембран каротиноидами / К. Стржалка, А. Костецка-Гугала, Д. Латовски // Физиол. раст. – 2003. – Т. 50, № 2. – С. 188–193.
17. Чернов Ю. Н. Адаптогенные стресс-корректорные свойства препаратов на основе *Cyperus esculentus* L. / Ю. Н. Чернов, В. С. Бузлама, Ю. В. Водолазский, О. А. Муракбашина: матер. V междунар. съезда «Актуальные проблемы создания новых лекарственных препаратов природного происхождения» (Петродворец, 5–7 июля 2001 г.). – 2001. – 670 с.
18. Asakaviciute R. Study of chlorophyll a and b in itiolated and androgenic plants of barley (*Hordeum vulgare* L.) / R. Asakaviciute, C. Jacquard, C. Clement // Journ. of Stress Physiology & Biochemistry. – 2006. – Vol. 2. – № 1. – P. 10–15.
19. Blackburn G. A. Hyperspectral remote sensing of plant pigments / G. A. Blackburn // Journal of Experimental Botany. – 2007. – Vol. 58, № 4. – P. 855–867.
20. Cinar I. Carotenoid pigment loss of freeze-dried plant samples under different storage conditions / I. Cinar // Electronical Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry. – 2003. – Vol. 2, № 5. – P. 563–569.
21. Cloete H. Shoot heterogeneity effects on Shiraz/Richter 99 grapevines. III. Leaf chlorophyll content / H. Cloete, E. Arher, V. Novello, J. J. Hunter // South African Journal Enol. Vitic. – 2008. – Vol. 29, № 1. – P. 9–12.
22. Daly T. Carotenoid content of commonly consumed herbs and assessment of their bioaccessibility using an in vitro digestion model / T. Daly, M. A. Jiwan, N. M. O'Brien, S. A. Aherne // Plant Foods for Human nutrition. – 2010. – Vol. 65. – P. 164–169.
23. Ferus P. Variability of chlorophyll content under fluctuating environment / P. Ferus, M. Arkosiova // Acta fytotechnica et zootechnica. – 2001. – Vol. 4. – P. 123–125.
24. Garrity S. R. Disentangling the relationships between plant pigments and the photochemical reflectance index reveals a new approach for remote estimation of carotenoid content / S. R. Garrity, J. U. H. Eitel, L. A. Vierling // Remote Sensing of Environment. – 2011. – Vol. 115. – P. 628–635.
25. Kükenthal G. Cyperaceae, Scirpoideae, Cypereae / G. Kükenthal. – A. Eldes, Lfs. Pflanzenreich 4.20. Verlag Engelmann. – Leipzig, 1936. – P. 116–121.
26. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes / H. K. Lichtenthaler // Methods in Enzymology. – 1987. – Vol. 148. – P. 350–382.
27. Rashmi R. Pharmacognostic studies of *Cyperus esculentus* Tuber. / R. Rashmi // Journal of Plant Anatomy and Morphology (Jodhpur). – 1993. – № 6. – P. 56–62.
28. Wills G. D. Anatomy of yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) / G. D. Wills, R. E. Hoagland, R. N. Paul // Weed Science. – 1980. – № 28. – P. 432–437.
29. Wettstein D. Chlorophyll biosynthesis / D. Wettstein, S. Gough, C. G. Kannangara // The Plant Cell. – 1995. – Vol. 7. – P. 1039–1057.
30. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.chufadevalencia.org>

31. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
http://valenciana.com.ua/images/horchata/chufa_hand.png
32. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
http://www.tigernuts.com/skinned_tigernuts.html
33. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://www.s-u-g.ch/5002679ce10caa201/urkornhof/braunhirseunderdmandeln>

Миколайчук В. Г., Вергун Е. М., Рахметов Д. Б. Динамика фотосинтетических пигментов растений *Cyperus esculentus* L. при интродукции в Правобережной Лесостепи Украины. – Представлены результаты исследований динамики фотосинтетических пигментов *Cyperus esculentus* на протяжении вегетации. Выявлены отличия содержания хлорофиллов и каротиноидов у различных клонов растений при интродукции в Северной части Правобережной Лесостепи Украины. Максимальное соотношение хлорофиллов отмечено в фазе формирования клубней (8,4-10,3). Наблюдается уменьшение каротиноидов в фазе окончания вегетации. Наибольшее соотношение $\sum Chl/car$ установлено для образца с. Фараон в фазе окончания вегетации (3,77).

Ключевые слова: *Cyperus esculentus*, ортотропные вегетативные побеги, парцеллы, фотосинтетический пигмент, хлорофилл, каротиноиды.

Mikolajchuk V. G., Vergun O. M., Rakhmetov J. B. The dynamic of photosynthetic pigments *Cyperus esculentus* L., introduced in right-bank forest-steppe zone of Ukraine. – The results of studies of the dynamics of photosynthetic pigments during the growing season are presented. Differences between the content of chlorophylls and carotenoids in various clones of plants for introduction into the Northern of the right-bank forest-steppe zone of Ukraine are observed. The maximum ratio of chlorophyll observed in the phase of forming tubers. Decrease of carotenoids at the end of the growing season are established. The most ratio $\sum Chl/car$ of samples of var. Faraon at the end of growing season are found.

Key words: *Cyperus esculentus*, ortotropic vegetative propagules, parcella, photosynthetic pigments, chlorophyll, carotinoid.