

БІОТЕХНОЛОГІЯ

УДК 582.998.1:57.083

doi: 10.25128/2078-2357.19.4.3

Н. Б. КРАВЕЦЬ, Л. Р. ГРИЦАК, М. З. ПРОКОП'ЯК, О. Ю. МАЙОРОВА,
Н. М. ДРОБИК

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: kravets1979n@ukr.net

ВМІСТ ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ У РОСЛИНАХ РОДУ *CARLINA* L. У ПРИРОДІ ТА КУЛЬТУРИ *IN VITRO*

Проведено порівняльне дослідження вмісту фотосинтетичних пігментів у рослинах видів роду *Carlina* L. (*Carlina onopordifolia* Besser ex Szafer, Kulcz. et Pawl., *Carlina cirsioides* Klokov та *Carlina acaulis* L.) з природних місць зростання та за різних світлових умов культивування *in vitro*. Встановлено, що в умовах *in situ* вміст пігментів найвищий у рослинах тіньовитривалого виду *C. cirsioides*, а найнижчий – у світлолюбного виду *C. onopordifolia*. Гірський вид *C. acaulis* займає проміжне місце щодо вмісту пігментів. Отримані дані щодо кількісного складу пігментного комплексу використано як критерій-маркер для оцінки відповідності світлового режиму культивування рослин *in vitro* їхнім потребам. Показано, що залежно від інтенсивності світлового потоку в області ФАР та спектрального складу світла, загальний вміст пігментів у рослин *in vitro* може змінюватися на 15–20 %, а показники відношень *Chl a/car*, *Chl b/car* – у 1,5–2 рази. Найбільш сталими у рослин *in vitro* є значення *Chl a/Chl b* незалежно від світлових умов їх культивування.

Ключові слова: *Carlina onopordifolia* Besser ex Szafer, Kulcz. et Pawl., *Carlina cirsioides* Klokov, та *Carlina acaulis* L.), *in situ*, *in vitro*, фотосинтетичні пігменти.

До рослин, які потребують охорони в Україні, належать види роду *Carlina* L., у першу чергу відкасник татарниколистий – *Carlina onopordifolia* Besser ex Szafer, Kulcz. et Pawl. та відкасник осотоподібний – *Carlina cirsioides* Klokov, які занесені до Червоної книги України (2009) і мають статус вразливих [15]. Невпинно скорочується і чисельність виду *Carlina acaulis* L., який в Україні є регіонально-рідкісним [12].

Доповненням до традиційних методів збереження флори виступають біотехнологічні методи: *in situ*, *ex situ*, *in vitro*, які дозволяють отримати значну кількість посадкового матеріалу цінних лікарських та рідкісних видів рослин. Адаптація є важливим завданням в усій схемі розмноження, що включає введення експлантатів в культуру *in vitro*, вкорінення та перенесення рослин-регенерантів в умови *ex vitro*. Для успішної адаптації необхідно забезпечити низку оптимальних фізичних факторів, щоб виконати поступовий перехід мікропагонів з умов *in vitro* в природні умови росту видів.

Відомо, що умови культивування рослин *in vitro* відрізняються від природних умов росту за такими особливостями як: інтенсивність і якість освітлення, рівень відносної вологості, склад живильного середовища, вміст поживних елементів та регуляторів росту, субстрат для культивування [10]. Сумарний вплив цих факторів зумовлює модифікацію складу фотосинтетичного апарату (ФСА) рослин – зміну вмісту світлозбирального пігмент-білкового

комплексу та співвідношення фотосистем [17, 18]. Значні зміни в складі та співвідношенні пігментів призводять спочатку до фізіологічних, а згодом і до морфологічних змін [8].

Зважаючи на сказане вище, метою роботи було дослідити особливості функціонування фотосинтетичного апарату рослин роду *Carlina* у природі та культурі *in vitro* за різних світлових умов.

Матеріал і методи досліджень

Для дослідження вмісту пігментів використовували рослини відкасників з природних умов росту та культивовані *in vitro*. Рослинний матеріал у природі відбирали з 10–15 рослин по 2–3 листки (з 2–3 ярусу) у червні – липні з таких місць росту: *C. cirsioides*, *C. onopordifolia* на г. Голиці (поблизу с. Гутисько, Бережанський район, Тернопільська область, 295 м н.р.м.), *C. acaulis* (с. Лазещина, Рахівський район, Закарпатська область, 714 м н.р.м.) та с. Кривопілля (Верховинський район Івано-Франківська обл., 1100 м н.р.м.). Для введення в культуру *in vitro* використовували насіння *C. cirsioides* та *C. onopordifolia*, зібране з природних місць росту, описаних вище, а також насіння *C. acaulis*, зібране з одного місця росту (с. Лазещина). Для визначення вмісту хлорофілів і каротиноїдів у листках рослин відкасників використовували 4–5 місячні рослини *in vitro*.

Для з'ясування впливу інтенсивності освітлення та спектрів випромінювання на зміну структурно-функціональних параметрів мікроклонально розмнужених рослин було використано: люмінесцентні лампи денного світла (ЛД) фірми «General Electric» (Hungary) (спектральний склад: 22,30 % – 400–450 нм, 19,5 % – 450–500 нм, 22,3 % – 500–550 нм, 22,3 % – 550–600 нм, 11,8 % – 600–650 нм, 3,7 % – 650–700 нм); люмінесцентні лампи Lumilux 36W 840 холодного білого світла (ЛХБ) та фітолампи Fluora L36W/77 G13 (ФЛ) фірми «OSRAM» (Німеччина). Світловий потік ЛХБ згідно з технічними даними 2700 люмен, його інтенсивність в області фотосинтетично активної радіації (ФАР) ($7,5 \text{ Вт/м}^2$), спектральний склад в діапазоні ФАР: 12,8% – 400–450 нм, 20,1% – 450–500 нм, 12,3% – 500–550 нм, 29,7% – 550–600 нм, 20,2% – 600–650 нм, 4,9% – 650–700 нм [1]). ФЛ мають такі характеристики: інтенсивність в області ФАР – $35,28 \text{ Вт/м}^2$ або $28,22 \text{ Вт/м}^2$ через 5 000 годин, спектральний склад: 15,5% – 400–450 нм, 3,7% – 450–500 нм, 7,4% – 500–550 нм, 9,6% – 550–600 нм, 59,9% – 600–650 нм, 3,9% – 650–700 нм [1]. Застосування цих ламп дозволило провести 3 варіанти корекції спектрального складу (СК), а саме: **1.1 варіант** – інтенсивність світлового потоку в області ФАР 85 Вт/м^2 , лампи ЛХБ, сумарний спектральний склад: $E_c : E_z : E_{ch} = 33\% : 42\% : 25\%$; **2 варіант** – інтенсивність світлового потоку в області ФАР 135 Вт/м^2 , співвідношення ламп ЛД до ЛХБ та ФЛ становить 0,6 : 1 : 1, спектральний склад: $E_c : E_z : E_{ch} = 29,5\% : 32,5\% : 38,1\%$; **2.1 варіант** – інтенсивність 100 Вт/м^2 , співвідношення ламп ЛХБ до ФЛ – 0,7:1,0, спектральний склад $E_c : E_z : E_{ch} = 25\% : 27\% : 48\%$.

Вміст пігментів визначали за загальноприйнятими методиками [11]. Статистичну обробку даних виконано за допомогою програмного забезпечення Prism 6. Критичний рівень значимості при перевірці статистичних гіпотез у дослідженні приймався рівним 0,05.

Результати досліджень та їх обговорення

Досліджувані види роду *Carlina* належать до різних висотних поясів рослинності. *C. acaulis* росте у межах висот 500–1500 м н. р. м, відповідно поширений від лісового до альпійського поясу – на луках, галявинах, узліссях. Популяції обох видів *C. onopordifolia*, *C. cirsioides* зустрічаються в межах висотного діапазону 290–350 м н. р. м., проте у різних фітоценотичних умовах росту. *C. cirsioides* – росте в розріджених лісах, на сухих луках, остепнених схилах, на сонячних узліссях, галявинах, на свіжих, переважно карбонатних, ґрунтах, а вид *C. onopordifolia* тяжіє до степових ділянок [4].

Виявлено, що відмінності еколого-географічних і фітоценотичних місць росту цих видів позначаються не лише на особливостях їх морфології, феноритмах, але й на вмісті фотосинтетичних пігментів та їх співвідношеннях. Ранжування видів за загальним вмістом пігментів показало, що найвищі показники ($131,2 \text{ мг/100 г}$ сирової маси) властиві рослинам *C. cirsioides*, на другому місці знаходяться рослини *C. acaulis* ($115,9 \text{ мг/100 г}$ сирової маси,

128,8 мг/100 г сирої маси), а рослини *C. onopordifolia* характеризуються найнижчими (109,2 мг/100 г сирої маси) показниками (рис. 1). Популяції видів *C. cirsioides* і *C. onopordifolia* перебувають на одному гіпсометричному рівні. Відмінність у показниках загального вмісту пігментів вказує на приналежність цих видів до різних екологічних груп за відношенням до світлового режиму: світлолюбивої – *C. onopordifolia* та тіньовитривалої – *C. cirsioides*.

У результаті досліджень було з'ясовано, що найвищий вміст *Chl a* є у рослин виду *C. acaulis* (78 мг/100 г сирої маси), а найнижче його значення – у *C. onopordifolia* (57,89 мг/100 г сирої маси). Такі відмінності, на наш погляд, відображають особливості адаптивних стратегій видів до проживання у різних екотопах. Відомо, що продуктивність рослин у значній мірі залежить від вмісту *Chl a*. Збільшення вмісту *Chl a* у пігментному комплексі ФСА рослин *C. acaulis*, порівняно із *C. onopordifolia* та *C. cirsioides*, дозволяє їм швидше накопичувати запас поживних речовин в умовах короткого вегетаційного періоду високогірних районів. Це є необхідною умовою для росту в екстремальних кліматичних умовах [11].

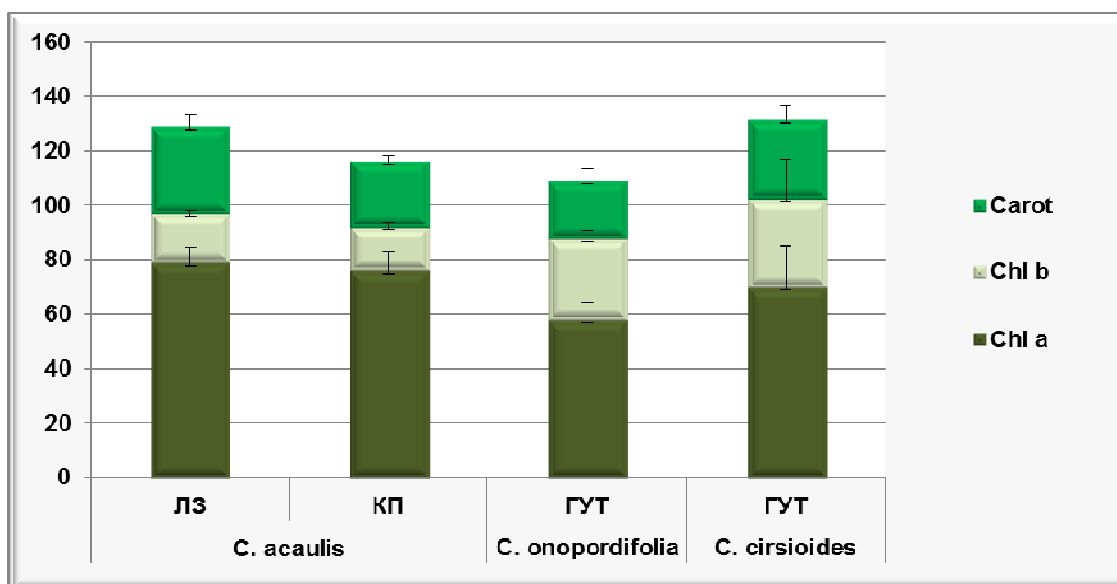


Рис. 1. Вміст пігментів у рослин роду *Carlina* з природних місць росту. Умовні позначення: ЛЗ – с. Лазещина; КП – с. Кривопілля; ГУТ – с. Гутисько

Не менш важливим діагностичним маркером є вміст *Chl b*. Цьому пігменту належить поліфункціональна роль, зокрема: за вмістом *Chl b* у пігментному комплексі можна визначити ступінь адаптації рослин до певних умов існування [6], у тому числі, й до світлового режиму росту. Серед досліджених видів концентрація *Chl b* є найнижчою у *C. acaulis*. Це пов'язано з тим, що у гірських районах спектральний склад сонячної радіації, а також співвідношення між прямою та розсіяною радіацією відрізняється від рівнинних територій. Високий рівень сонячної інсоляції призводить до зменшення кількості та розмірів світлозбиральних комплексів, а відтак і *Chl b*, який до них входить [13]. Відомо, що вміст каротиноїдів більшується в умовах підвищення сонячної інсоляції та дефіциту вологи, оскільки вони здатні зв'язувати пероксидні сполуки і захищати пігмент-білкові комплекси фотосинтетичних мембран і *Chl a* від фотоокислення [5]. Цим пояснюється не лише вищий вміст каротиноїдів у пігментному комплексі рослин гірського виду *C. acaulis*, але й нижчі показники відношення *Chl b/car* (рис. 2), порівняно із видами *C. onopordifolia* та *C. cirsioides*.

Особливості вмісту пігментів позначилися на їх відношеннях у пігментному комплексі. Найвищим (4,38–4,66) відношення вмісту *Chl a/b* є у рослин *C. acaulis*, а найнижчим (2,0) – у *C. onopordifolia*. Отримані показники щодо виду *C. acaulis* також вказують на зменшення вмісту *Chl b* як компонента СЗК фотосистем II (ФС II) та I (ФС I), що спричинено світловими умовами зростання. Низьке значення відношення вмісту *Chl a/b* вказує на приналежність

рослин до групи тіньовитривалих [3]. На перший погляд, це дозволяє вид *C. onopordifolia* віднести до категорії тіньовитривалих рослин. Проте, серед досліджених видів вміст хлорофілів у його рослинах є найнижчим, що характерно для світлолюбних рослин. У такому випадку, як зазначають інші автори [9], висновки щодо світлолюбності необхідно робити на основі загального вмісту хлорофілів. Це підтверджує його приналежність до світлолюбних рослин [3].

У досліджених видів відношення хлорофілів ($a + b$) до каротиноїдів є найменшим у *C. acaulis* з обох місць зростання і найбільше – у *C. onopordifolia*. Відомо, що чим меншим є відношення хлорофілів ($a + b$) до каротиноїдів, тим у більш стресових умовах перебуває рослина, оскільки вміст каротиноїдів знаходиться у прямій кореляційній залежності від гормону стресу – абсцизової кислоти [7]. Отримані результати вказують на екстремальніші умови природного зростання рослин виду *C. acaulis*. до існування в екстремальних умовах росту.

Кількісний склад пігментів у фотосинтетичному апараті рослин з природних умов росту дозволяє не лише оцінити умови їх існування, але є важливим критерієм-маркером для з'ясування відповідності світлового режиму культивування рослин *in vitro* їх потребам. Доведено, що ріст рослин залежить від одночасного поєднання трьох складників: якості світла, його інтенсивності та тривалості дії [16].

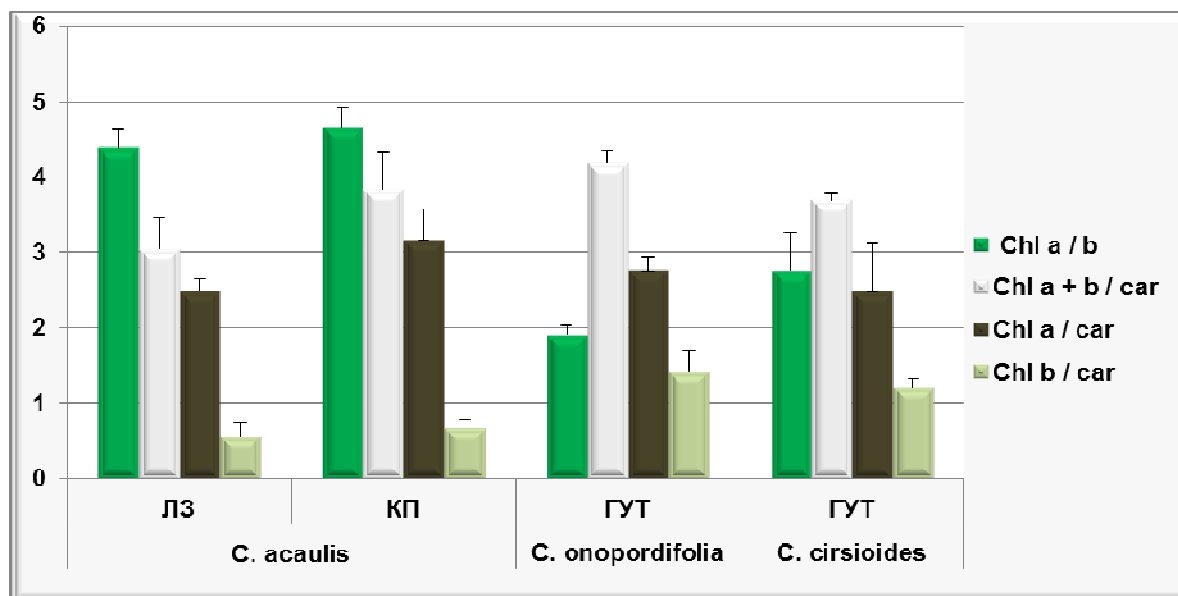


Рис. 2. Відношення пігментів у рослинах роду *Carlina* з природних місць росту.
Умовні позначення: див. рис. 1.

Результати досліджень показали, що пігментний комплекс культивованих *in vitro* рослин динамічно реагує на зміну світлового режиму їх вирощування (рис. 3). За світлових умов 1.1 варіанту у рослин усіх видів підвищується вміст пігментів, порівняно з умовами природи (рис. 3). Найбільш різко зростає вміст пігментів у *C. onopordifolia*. Відомо, що в умовах недостатнього освітлення у рослин збільшується вміст пігментів, а також розмір світлозбирального комплексу фотосистем. Останнє супроводжується зменшенням показників співвідношення *Chl a/b* [14].

У рослин *in vitro* видів *C. cirsioides* та *C. onopordifolia*, на фоні підвищення загального вмісту пігментів, показник відношення *Chl a/b* не зменшується, а, навпаки, зростає у 1,5–2 рази, порівняно із особинами видів з природи (рис. 4). Такі зміни в усіх видів відбулися за рахунок збільшення вмісту хлорофілу *a*. Це є ознакою того, що пігментний комплекс реагує не лише на інтенсивність світлового потоку в області ФАР, але й на спектральний склад світла.

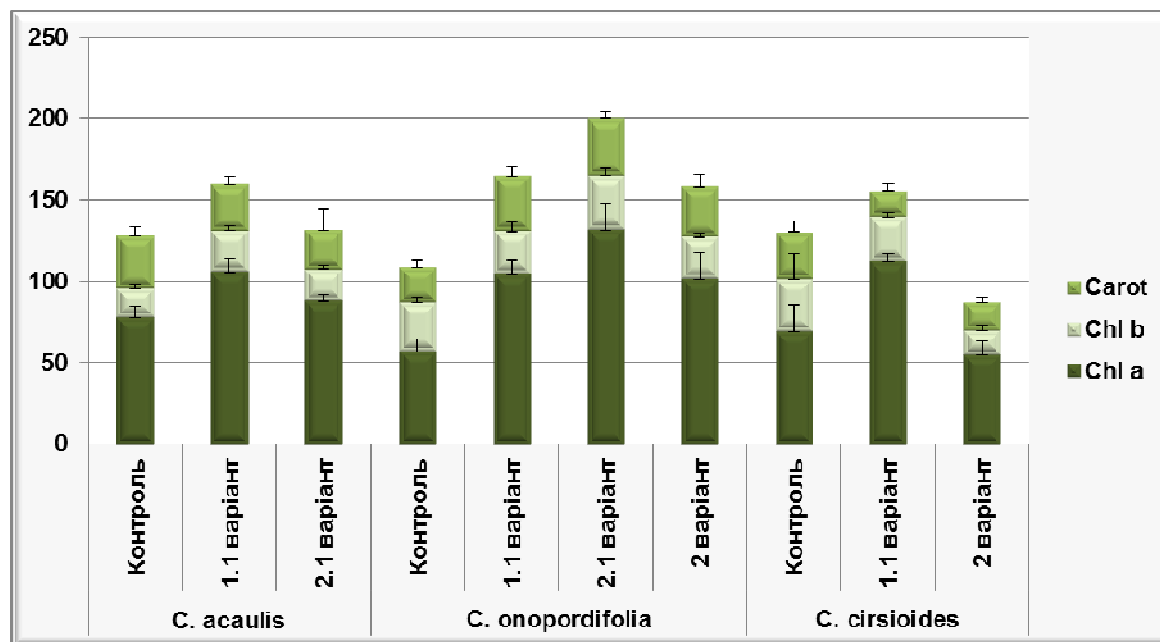


Рис. 3. Вміст пігментів у культивованих *in vitro* рослинах видів роду *Carlina* за різних варіантів освітлення

Подальше збільшення інтенсивності світлового потоку до 100 Вт/м² супроводжується зниженням загального вмісту пігментів у рослинах *C. acaulis* фактично до рівня, характерного для особин з природи. Значення відношення *Chl a/b* теж за цих світлових умов наближаються до рослин *in situ* (рис. 4).

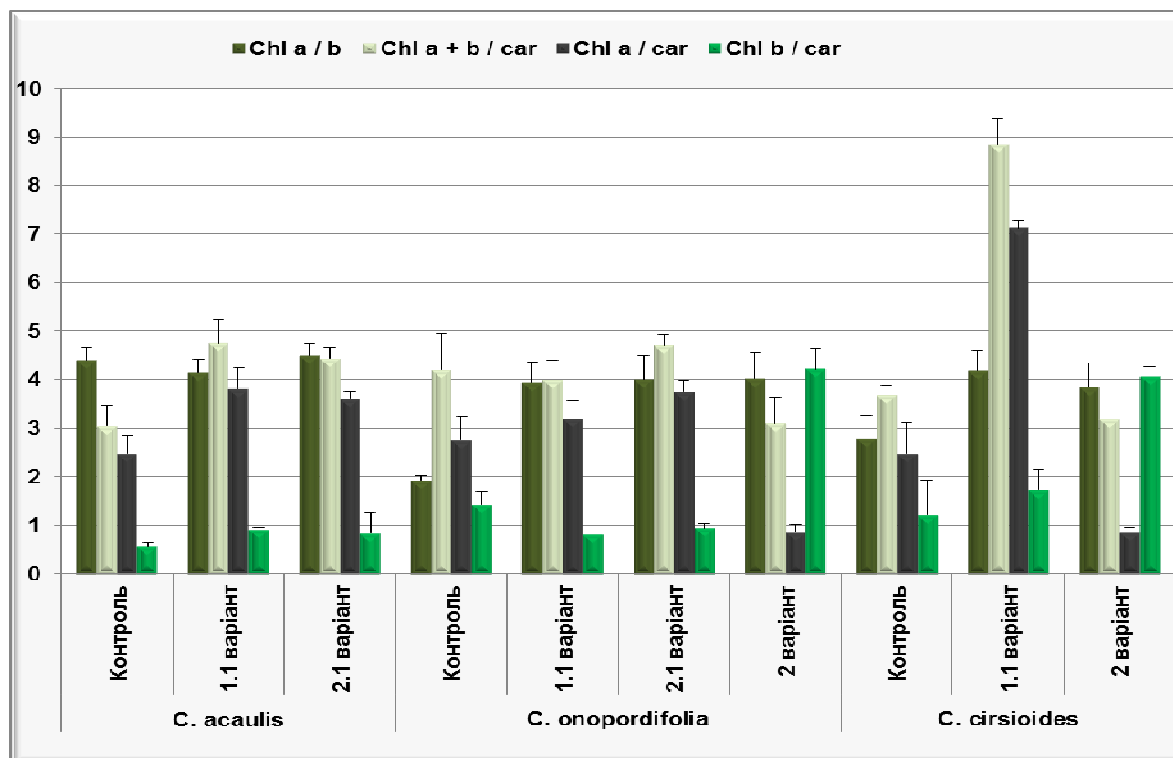


Рис. 4. Відношення пігментів у культивованих рослинах *in vitro* видів роду *Carlina* за різних варіантів освітлення

У рослин *in vitro* *C. onopordifolia*, культивованих за світлових умов 2.1 варіанту, загальний вміст пігментів не знижується, а, навпаки, зростає (рис. 4). Аналіз відношень пігментів показав, що значення *Chl a/b* достовірно не відрізняються від рослин з 1.1 варіанту. Проте величини відношень *Chl a+b/car* і *Chl a/car* значно збільшується. Подальше підвищення інтенсивності світлового потоку до 135 Вт/м² (2 варіант) супроводжується зниженням загального вмісту пігментів до значень, властивих для рослин із 1.1 варіанту світлового режиму (рис. 3). Проте спостерігається ще більше розбалансування відношень *Chl a/car* і *Chl b/car*, не лише порівняно з рослинами *in situ*, але й з інших варіантів світлових умов їх культивування. Відповідно, світлові умови 2 варіанту найбільше не відповідають природним потребам виду *C. onopordifolia*, значно більше до них наближений 1.1 варіант.

Аналіз загального вмісту пігментів та їх відношень у фотосинтетичному апараті рослин *in vitro* *C. cirsioides* за різних умов освітлення показав, що жодний із варіантів не відповідає потребам цього виду. Це підтверджує наше припущення, що *C. cirsioides* належить до групи тіньовитривалих рослин, для яких інтенсивність світлового потоку знаходиться в межах 70 Вт/м² [2].

Висновки

Отже, досліджено вміст пігментів у фотосинтетичному апараті рослин видів *C. acaulis*, *C. onopordifolia*, *C. cirsioides* в умовах *in situ* та *in vitro*. Встановлено, що відмінності еколого-географічних і фітоценотичних місць росту видів позначаються як на загальному вмісті пігментів, так й на вмісті кожної їх групи. Найвищий вміст пігментів у тіньовитривалого виду *C. cirsioides*, друге місце посідає гірський вид *C. acaulis*. У світлолюбного виду *C. onopordifolia* вміст пігментів є найнижчий. Найвищий вміст хлорофілу *a* характерний для рослин виду *C. acaulis*, а найнижчий для рослин виду *C. onopordifolia*, що відображає особливості адаптивних стратегій видів до проживання у різних екотопах. Найбільші відмінності виявлено у співвідношеннях груп пігментів, особливо, *Chl a/b*, значення якого становлять у рослин *C. acaulis* 4,38–4,66, а у рослин *C. onopordifolia* – 2,0. Показано, що оптимізацією інтенсивності світлового потоку в області ФАР і коригуванням спектрального складу світла можна впливати на пігментний комплекс рослин *in vitro*. Реакція рослин *in vitro* на світлові умови культивування залежить від біологічних особливостей видів, сформованих у результаті тривалої еволюції. Тому, навіть в однакових світлових умовах рослини *in vitro* досліджених видів відрізняються між собою за вмістом пігментів та їхнім співвідношенням. Показано, що потребам рослин виду *C. acaulis* в умовах *in vitro* найбільше відповідають світлові умови 2.1 варіанту, для виду *C. onopordifolia* – світловий режим 1.1 варіанту. Водночас, жодний із протестованих світлових режимів не відповідає фізіологічним потребам виду *C. cirsioides*, що пов'язано із інтенсивністю їх світлових потоків, яка виходить за межі діапазону значень, властивих для тіньовитривалих видів.

1. Велит І. А., Гузик Д. В. Вибір джерел світла для оптичного опромінення рослин томатів, огірків та розсади. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2013. Т. 1, № 25. С. 128–132.
2. Говоров П. П., Велит І. А., Щиренко В. В., Пилипчук Р. В. Джерела світла для вирощування овочів в умовах закритого ґрунту : навчальний посібник для студентів спеціальності «Світлотехніка та джерела світла». Тернопіль : Джура, 2011. 156 с.
3. Гродзинский А. М. Краткий справочник по физиологии. Киев : Наук.думка, 1973. 591 с.
4. Єфремова О.О., Скибіцька М.І., Мелешко І.Г., Ган Т.В. Біологічні особливості росту й розвитку видів роду *Carlina* L. *ex situ*. *Лісівництво і агролісомеліорація*: Зб. наук. пр. Харків: УкрНДІЛГА, 2009. Вип. 115. С. 245–249.
5. Иванов Л. А., Иванова Л. А., Ронжина Д. А., Юдина П. К. Изменение содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях степных растений вдоль широтного градиента на Южном Урале. *Физиология растений*. 2013. Т. 60, № 6. С. 856–864.
6. Злобин Ю. А. Популяционная экология растений: современное состояние, точки роста: монография. Сумы : Университетская книга, 2009. 263 с.
7. Кодун-Иванова М. А. Показатели водного стресса микроклонально размноженных растений осины *Populus tremula* при их выращивании в условиях *ex vitro*. *Труды БГТУ*. 2017. Сер. 1, № 2. С. 146–155.

8. Левчук А. Н. Влияние уровня освещения на пигментный состав разных типов хлорофильных мутантов льна масличного. *Вісник Запорізького національного університету*. 2009. № 2. С. 15–20.
9. Маргітай Л. Г., Паляниця Б., Терек О. Аналіз результатів спектрофотометричного дослідження вмісту фотосинтезувальних пігментів у листках рослин із застосуванням комп'ютерних програм. *Вісник Львівського університету. Серія «Біологія»*. 2006. № 41. С. 123–131.
10. Медведєва Т. М. Використання аквакультури для акліматизації культивованих *in vitro* рослин. *Садівництво*. 2012. Т. 66. С. 338–343.
11. Межунц Б. Х., Навасардян М. А. Количественная характеристика фотосинтетических пигментов травяных растений горных экосистем Армении. *Вестник Тюменского государственного университета*. 2012. № 12. С. 220–226.
12. Офіційні переліки регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України (довідкове видання) / Укладачі: докт. біол. наук, проф. Т.Л. Андриєнко, канд. біол. наук М.М. Перегрим. Київ : Альтерпрес, 2012. 148 с.
13. Сиваш О. О. Акумуляція сонячної енергії: фотосинтез чи штучні системи. *Biotechnologia Acta*. 2012. Т. 5, № 6. С. 27–38.
14. Фомішина Р. Н., Сиваш О. О., Захарова Т. О., Золотарьова О. К. Роль хлорофілази в адаптації рослин до умов освітлення. *Український ботанічний журнал*. 2009. Т. 66, № 1. С. 94–102.
15. Червона книга України. Рослинний світ / За ред. Я.П. Дідуха. К. : Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
16. Folta K. M., Childers K. S. Light as a growth regulator: controlling plant biology with narrow-bandwidth solid-state lighting systems. *HortScience*. 2008. Vol. 43, Iss. 7. P. 1957–1964. doi: 10.21273/HORTSCI.43.7.1957.
17. Melis A. Dynamics of photosynthetic membrane composition and function. *Biochim. Biophys. Acta*. 1991. 1058, N 1. P. 87–106.
18. Murchie E. H. Acclimation of photosynthesis to irradiance and spectral quality in British plant species: chlorophyll content, photosynthetic capacity and habitat preference. *Plant Cell Environ*. 1997. 20, N 2. P. 438–448.

References

1. Velyt I. A., Guzyk D. V. Vybir dzherel svitla dlia optychnoho oprominennia roslyn tomativ, ohirkiv ta rozsady. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zv'iazku*. 2013. T. 1, No 25. S. 128–132 (in Ukrainian).
 2. Hovorov P. P., Velyt I. A., Shchyrenko V. V., Pylypchuk R. V. Dzherela svitla dlia vyroshchuvannia ovochiv v umovakh zakrytoho gruntu : navchal'nyy posibnyk dlia studentiv spetsial'nosti «Svitlotekhnika ta dzherela svitla». Ternopil' : Dzhura, 2011. 156 s (in Ukrainian).
 3. Grodzinskiy A. M. Kratkiy spravochnik po fiziologii. Kiev : Nauk.dumka, 1973. 591 s (in Russian).
 4. Iefremova O.O., Skybits'ka M.I., Meleshko I.H., Han T.V. Biologichni osoblyvosti rostu y rozvytku vydiv rodu *Carlina* L. *ex situ*. *Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiia*: Zb. nauk. pr. Kharkiv: UkrNDILHA, 2009. Vyp. 115. S. 245–249 (in Ukrainian).
 5. Ivanov L. A., Ivanova L. A., Ronzhina D. A., Iudina P. K. Izmenenie soderzhaniia khlorofillov i karotinoidov v list'iakh stepnykh rasteniy vdol' shirotnogo gradienta na Iuzhnom Urale. *Fiziologiya rasteniy*. 2013. T. 60, No 6. S. 856–864 (in Russian).
 6. Zlobin Iu. A. Populiatsonnaia ekologiya rasteniy: sovremennoe sostoianie, tochi rosta: monografiia. Sumy : Universitetskaia kniga, 2009. 263 s (in Russian).
 7. Kodun-Ivanova M. A. Pokazateli vodnogo stressa mikroklonal'no rozmnozhennykh rasteniy osiny *Ropulus tremula* pri ikh vyrashchivani v usloviakh *ex vitro*. *Trudy BGTU*. 2017. Ser. 1, No 2. S. 146–155 (in Russian).
 8. Levchuk A. N. Vliianie urovnia osveshcheniia na pigmentn'y sostav razn'kh tipov khlorofil'n'kh mutantov l'na maslichnogo. *Visnik Zaporiz'kogo natsional'nogo universitetu*. 2009. No 2. S. 15–20 (in Russian).
 9. Marhitay L. H., Palianytsia B., Terek O. Analiz rezul'tativ spektrofotometrychnoho doslidzhennia vmistu fotosyntezuval'nykh pihmentiv u lystkakh roslyn iz zastosuvanniam komp'iuternykh proham. *Visnyk L'viv's'koho universytetu. Serii «Biolohiia»*. 2006. No 41. S. 123–131 (in Ukrainian).
 10. Medvedieva T. M. Vykorystannia akvakul'tury dlia aklimatyatsii kul'tyvovanykh *in vitro* roslyn. *Sadivnytstvo*. 2012. T. 66. S. 338–343 (in Ukrainian).
 11. Mez Hunts B. Kh., Navasardian M. A. Kolichestvennaia kharakteristika fotosinteticheskikh pigmentov travianykh rasteniy gornykh ekosistem Armenii. *Vestnik Tiimenskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012. No 12. S. 220–226 (in Russian).
 12. Ofitsiyni pereliki rehional'no ridkisnykh roslyn administratyvnykh terytoriy Ukrainy (dovidkove vydannia) / Ukladachi: dokt. biol. nauk, prof. T.L. Andriienko, kand. biol. nauk M.M. Perehrym. Kyiv : Al'terpres, 2012. 148 s (in Ukrainian).
- 22 ISSN 2078-2357. Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол., 2019, № 4 (78)

13. Syvash O. O. Akumuliatsiia soniachnoi enerhii: fotosyntezy chy shchuchni systemy. *Biotechnologia Acta*. 2012. T. 5, No 6. S. 27–38 (in Ukrainian).
14. Fomishyna R. N., Syvash O. O., Zakharova T. O., Zolotar'ova O. K. Rol' khlorofilazy v adaptatsii roslin do umov osvitu. *Ukrains'kyi botanichnyi zhurnal*. 2009. T. 66, No 1. S. 94–102 (in Ukrainian).
15. Chervona knyha Ukrainy. Roslynnyy svit / Za red. Ya.P. Didukha. K. : Hlobkonsaltynh, 2009. 900 s (in Ukrainian).
16. Folta K. M., Childers K. S. Light as a growth regulator: controlling plant biology with narrow-bandwidth solid-state lighting systems. *HortScience*. 2008. Vol. 43, Iss. 7. P. 1957–1964. doi: 10.21273/HORTSCI.43.7.1957.
17. Melis A. Dynamics of photosynthetic membrane composition and function. *Biochim. Biophys. Acta*. 1991. 1058, N 1. P. 87–106.
18. Murchie E. H. Acclimation of photosynthesis to irradiance and spectral quality in British plant species: chlorophyll content, photosynthetic capacity and habitat preference. *Plant Cell Environ.* 1997. 20, N 2. P. 438–448.

N. B. Kravets, L. R. Hrytsak, M. Z. Prokopyak, O. Yu. Mayorova, N. M. Drobyk
Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University, Ukraine

THE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN *CARLINA* L. PLANTS IN NATURE AND *IN VITRO* CULTURE

The comparative research of photosynthetic pigments content in *Carlina* L. plants (*Carlina onopordifolia* Besser ex Szafer, Kulcz. et Pawl., *Carlina cirsioides* Klokov та *Carlina acaulis* L.) from natural habitats and under various lighting conditions of cultivation *in vitro* was held. It has been established that in natural conditions the content of chlorophylls and carotenoids and their correlation in the studied plants depends not only on ecological and geographical conditions of their growth but on specific species peculiarities too. In natural conditions the biggest (131.2 mg/100g of fresh weight) content of pigments was found in shade-enduring species of *C. cirsioides*, the second place (115.9 mg/100 g of fresh weight) was taken by an alpine species of *C. acaulis*. A light-requiring species of *C. onopordifolia* had the smallest amount of pigments – 109.2 mg/100 g of fresh weight respectively. The biggest content (78 mg/100 g of fresh weight) of chlorophyll *a* was characteristic of *C. acaulis* plants, and the smallest (57.89 mg/100g of fresh weight) was pertaining to *C. onopordifolia* plants that reflects the peculiarities of adaptive strategies of species to growth in different ecotopes. The quantitative composition of pigments in photosynthetic apparatus of plants from natural growing conditions was used as a criterion-marker for evaluation of suitability of lighting regime for *in vitro* cultivated plants according to their needs.

It has been established that in culture *in vitro* the determining factors are not only the specific species peculiarities of plants but also the lighting conditions of their growing. It has been shown that in conditions *in vitro* the optimization of intensity of light flux in the area of photosynthetically active radiation (PAR) and modification of spectral composition of light allow influencing the pigment complex of plants *in vitro*. The intervariant differences in the general content of pigments constitute 15–20 %, and the indices of correlations *Chl a/car*, *Chl b/car* are marked by 1.5–2 times change. The most stable are the values of *Chl a/Chl b*, irrespective of lighting conditions of cultivation *in vitro*. Among the tested light regimes the most suitable to the needs of *C. acaulis* species *in vitro* conditions are the light conditions of Variant 2.1 (intensity of light flow in the PAR 100 W/m², spectral composition – *E_b* : *E_g* : *E_r* = 25% : 27% : 48%); for *C. onopordifolia* species the best are the conditions of light regime of Variant 1.1 (intensity 85 W/m², *E_b* : *E_g* : *E_r* = 33% : 42% : 25%). However, none of the tested light regimes is suitable for the physiological needs of *C. cirsioides* species that is connected with the intensity of light flux used which transcends the range of values pertaining to shade-enduring species.

Key words: *Carlina onopordifolia* Besser ex Szafer, Kulcz. et Pawl., *Carlina cirsioides* Klokov, *Carlina acaulis* L.), *in situ*, *in vitro*, photosynthetic pigments.

Надійшла 20.11.2019.