

ISSN: 2306-9716 (Print)
ISSN: 2664-6110 (Online)

МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

3(36)



Видавничий дім
«Гельветика»
2021

Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. :
Видавничий дім «Гельветика», 2021. – № 3(36). – 190 с.

Головний редактор: Бондар О.І., доктор біологічних наук

Заступник головного редактора: Нагорнева Н. А.

Науковий редактор: Машков О.А., доктор технічних наук

Відповідальний редактор: Сікачина В. Г.

Редакційна колегія:

Гандзюра В.П., доктор біологічних наук

Єрмаков В.М., доктор технічних наук

Захматов В.Д., доктор технічних наук

Івашенко Т.Г., кандидат технічних наук

Конішук В.В., доктор біологічних наук

Лукаш О.В., доктор біологічних наук,

Машков В.А., доктор технічних наук

Михайленко Л.Є., доктор біологічних наук

Нецветов М.В., доктор біологічних наук

Ольшевський С.В., доктор технічних наук

Риженко Н.О., доктор біологічних наук

Рудько Г.І., доктор геолого-мінералогічних наук,

доктор географічних наук, доктор технічних наук

Улицький О.А., доктор геологічних наук

Фінін Г.С., доктор фізико-математичних наук

Шматков Г.Г., доктор біологічних наук

На підставі Наказу Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р. (додаток 1) журнал внесений до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») у галузі біологічних наук (091 – Біологія), природничих наук (101 – Екологія, 103 – Науки про Землю) та технічних наук (183 – Технології захисту навколишнього середовища).

Журнал публікує (після рецензування та редагування) статті, які містять нові теоретичні та практичні здобутки в галузі екологічних наук.

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

*Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International
(Республіка Польща)*

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ	7
Борис О.П. Удосконалення механізмів ліквідації великомасштабних лісових пожеж.....	7
Солошич І.О. Дослідження впливу транспортної системи на шумову та вібраційну безпеку урбоекосистеми.....	12
Трускавецька І.Я. Ентомокомплекс шкідників ягідних культур в умовах Броварського району Київської області.....	17
Тузяк Я.М. Декоративний камінь як окрема категорія геотуристичних об'єктів: наукові підходи, прикладні засоби оцінки кам'яних ресурсів та їх родовищ для визначення статусу глобального (світового) надбання: світова і вітчизняна практика.....	21
Черба О.В. Відбір екологічних показників для інтегральної оцінки антропогенного впливу на довкілля.....	34
ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ	39
Патрушева Л.І. Особливості просторово-часової організації гідрологічного моніторингу в Національному природному парку «Бузький Гард».....	39
ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ	46
Гвоздяк П.І., Домбровський К.О., Капарник А.І., Рильський О.Ф. Розвиток гідробіонтів на/у занурених у стічну воду носіях ВІЯ при її очищенні за інтенсивної аерації.....	46
Захаренко М.О., Курбатова І.М., Туницька О.М. Характеристика ксенобіотиків водних екосистем.....	51
Касіячук Д.В., Тимків М.М. Гідрогеокологічний аналіз басейну річки Прип'ять.....	57
Сапко О.Ю. Аналіз виконання вимог європейського законодавства щодо управління водними ресурсами в Україні.....	64
ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО	69
Ольховик Ю.О., Антонов А.В., Денисенко І.Ю., Веселівський Р.Б. Деякі особливості захоронення солебітумного компаунду Рівненської АЕС.....	69
ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ	73
Буглак О.В., Верховцев В.Г., Сушук К.Г., Тищенко Ю.Є., Задорожний Д.Б. Радіоекологічна ситуація на території екзогенних інфільтраційних родовищ урану України та оцінка її впливу на довкілля.....	73
Вольвач О.В., Жигайло О.Л., Колосовська В.В., Костюкєвич Т.К. Агроекологічна оцінка умов вирощування гороху в Запорізькій області України.....	81
Закорчевна Н.Б., Нагорнева Н.А. Сучасний стан малої гідроенергетики в Україні.....	86
Пикало С.В., Демидов О.А., Юрченко Т.В., Рибка К.М., Харченко М.В., Прокопів Н.І. Клітинна селекція зернових культур на стійкість до абіотичних стресорів у Миронівському інституті пшениці імені В.М. Ремесла.....	96
Польовий А.М., Божко Л.Ю., Барсукова О.А. Вплив погодних умов на формування врожаїв картоплі в Західному Поліссі.....	104
Шевченко Р.Ю. Географія довкілля та природокористування в топоніміці м. Києва.....	110
ТЕОРЕТИЧНА ЕКОЛОГІЯ	117
Воровка В.П., Яцентюк Ю.В., Копилова Т.В. Гравітаційні взаємодії між ландшафтними рівнями Північно-Західного Приазов'я та їх екологічні наслідки.....	117
Русин І.Б., Медведєв О.В., Дячок В.В. Вплив міжелектродної відстані на біоелектричні показники електробіосистем.....	123
Семененко Є.В., Тепла Т.Д. Оцінка тривалості процесу фільтрації рідини зі сховища за наявності біотехногенного навантаження навкруги його периметру.....	127

Телюра Н.О. Комплексна методика дослідження технологічних та організаційно-економічних інструментів управління природокористуванням.....	131
БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА	137
Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Зозуля В.М. Оцінка ризику споживання питної води з підвищеним вмістом нітратів на здоров'я населення Житомирської об'єднаної територіальної громади.....	137
Гринцова Н.Б., Карпенко Л.І., Романюк А.М., Ходорова І. Вплив забруднювачів водного середовища (важких металів) на морфологічні та морфометричні показники епіфіза щурів (особливості кореляційних взаємозв'язків).....	142
ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ	147
Гавриленко Н.О. Підсумки інтродукції <i>Allium obliquum</i> L. у дендрологічному парку «Асканія-Нова».....	147
Климчук О.О., Кратюк О.Л., Власюк В.П. Тенденції функціонування консортивних зв'язків птахів у весняно-літній період під впливом напіввільного утримання мисливських тварин в умовах Центрального Полісся.....	153
Кравець Н.Б., Колісник Х.М., Грицак Л.Р., Прокоп'як М.З., Майорова О.Ю., Дробик Н.М. Залежність вмісту фотосинтетичних пігментів у рослинах деяких видів роду <i>Carlina</i> L. від умов освітлення <i>in vitro</i>	160
Красовський В.В. Врахування морфологічної будови пагонів зизифусу справжнього (<i>Zizyphus jujuba</i> Mill.) при вегетативному розмноженні щитком вприклад.....	167
Мартенюк Г.М., Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Гладич Н.О. Забруднення важкими металами їстівних грибів роду <i>Pleurotus</i> у межах селітебних територій.....	171
Решетник К.С., Юськов Д.С., Сімонян Р.В. Вивчення ростових та морфологічних параметрів міцелію <i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) P. Kumm. за дії LED-лазерів.....	175
РОЗВИТОК ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ УКРАЇНИ	182
Цибуля М.М. Продромус рослинності Національного природного парку «Мале Полісся».....	182
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ	187

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВМІСТУ ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ У РОСЛИНАХ ДЕЯКИХ ВИДІВ РОДУ *CARLINA* L. ВІД УМОВ ОСВІТЛЕННЯ *IN VITRO*

Кравець Н.Б., Колісник Х.М., Грицак Л.Р.,
Прокоп'як М.З., Майорова О.Ю., Дробик Н.М.

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, 46027, м. Тернопіль
kravets1979n@ukr.net, kolisnyk@chem-bio.com.ua, hrytsak1972@gmail.com,
maryanamosula@gmail.com, majorova@i.ua, drobyk.n@gmail.com

Досліджено динаміку проростання насіння видів *Carlina onopordifolia* Besser ex Szafer, Kulcz. et Pawl., *Carlina cirsioides* Klokov та *Carlina acaulis* L. в умовах *in vitro*. Встановлено, що оптимальним періодом для схожості насіння був жовтень, коли схожість насіння становила: *C. acaulis* та *C. cirsioides* – 87,5%, *C. onopordifolia* – 91%. Підібрано живильні середовища для росту та вкорінення цих рослин *in vitro*. Визначено, що найефективнішим для процесу вкорінення досліджених рослин роду *Carlina* є попереднє замочування їх насіння в розчині індол-3-масляної кислоти. Проведено порівняльне дослідження вмісту фотосинтетичних пігментів у листках досліджених видів за різних світлових умов культивування *in vitro*. З'ясовано, що пігментний комплекс культивованих *in vitro* рослин суттєво реагує на зміну світлового режиму їх вирощування. Реакція рослин *in vitro* на світлові умови культивування залежить від біологічних особливостей видів, сформованих у результаті тривалої еволюції. Це й пояснює значні відмінності кількісного складу пігментного комплексу рослин *in vitro* досліджених видів за однакових світлових умов культивування. Аналіз показників вмісту та співвідношення пігментів свідчить про реакцію фотосинтетичного апарату рослин роду *Carlina* як на інтенсивність світлового потоку, так і на спектральний склад світла. За світлових умов 1.1 варіанту в рослин усіх видів підвищується вміст пігментів, порівняно з рослинами з природних умов росту. Для *C. acaulis* оптимальними виявилися світлові умови 2.1 варіанту, для виду *C. onopordifolia* – 1.1 варіанту. У той же час світловий режим 2 варіанту найбільше не відповідає природним потребам виду *C. onopordifolia*. Жоден із протестованих варіантів освітлення не відповідав потребам виду *C. cirsioides*, що, очевидно, пов'язано з інтенсивністю їх світлових потоків, яка виходить за межі діапазону значень, властивих для тіньовитривалих видів. **Ключові слова:** *Carlina* L., проростання насіння, ріст та вкорінення рослин, фотосинтетичні пігменти, *in vitro*, спектральний склад світла.

Dependence of the content of photosynthetic pigments in plants of certain species of the genus *Carlina* L. from *in vitro* lighting conditions. Kravets N., Kolisnyk Kh., Hrytsak L., Prokopiak M., Mayorova O., Drobyk N.

The dynamics of seed germination of species *Carlina onopordifolia* Besser ex Szafer, Kulcz. et Pawl., *Carlina cirsioides* Klokov and *Carlina acaulis* L. *in vitro* was studied. It was found that the optimal period for seed germination was October, when seed germination was: *C. acaulis* and *C. cirsioides* – 87.5%, *C. onopordifolia* – 91%. Nutrient media for growth and rooting of these plants *in vitro* were selected. It was determined that the most effective for the rooting process of the studied plants of the genus *Carlina* is pre-soaking their seeds in a solution of indole-3-butyric acid. A comparative study of the photosynthetic pigments content in the studied species leaves under different light conditions cultivation *in vitro* was performed. It was found that the pigment complex of *in vitro* cultivated plants significantly responds to changes in the light regime of their cultivation. The plant response *in vitro* to light cultivation conditions depends on the biological characteristics of species formed as a result of long-term evolution. This explains the significant differences in the quantitative composition of the pigment complex of the studied species plants *in vitro* under the same light conditions of cultivation. Analysis of the content and ratio of pigments indicates the reaction of the photosynthetic apparatus of plants of the genus *Carlina* to both the intensity of light flux and the spectral composition of light. Under light conditions of variant 1.1, the pigments content increase in all plants species, compared with plants from natural growth conditions. For *C. acaulis*, the light conditions of variant 2.1 were optimal, for the species *C. onopordifolia* – 1.1 variant. At the same time, the light regime of variant 2 does not meet the natural needs of the species *C. onopordifolia* the most. None of the tested lighting variants met the needs of *C. cirsioides*, which is apparently due to the intensity of their light fluxes, which is outside the range of values inherent in shade-tolerant species. **Key words:** *Carlina* L., seed germination, plant growth and rooting, photosynthetic pigments, *in vitro*, spectral composition of light.

Постановка проблеми. Зростаюча динаміка погіршення екологічної ситуації та антропогенний вплив на фітоценози призводять до порушення та інколи до повного знищення популяцій. До рослин, яким потрібна охорона на території України, належать види роду *Carlina* L. Вони занесені до Червоної книги України (2009) і мають статус вразливих, а саме: відкасник татарниколистий – *Carlina onopordifolia* Besser ex Szafer, Kulcz. et Pawl та відкасник осотоподібний – *Carlina cirsioides* Klokov.

Також відбувається прогресуюче скорочення чисельності виду *Carlina acaulis* L., який є регіонально-рідкісним [1; 2]. Головним способом збереження та ефективного використання лікарських рослин є введення їх у культуру *in vitro*. Це забезпечує збереження природних запасів і задоволення зростаючої потреби в лікарській рослинній сировині. Проте використання посадкового матеріалу, отриманого за допомогою біотехнологічних методів, у проектах із відновлення популяцій є обме-

женим. Це пов'язано зі структурно-функціональними змінами рослин *in vitro*, які й ускладнюють їх адаптацію до нових умов росту [3]. Вирішити цю проблему дає змогу використання критеріїв-маркерів, які дозволяють оцінювати морфо-фізіологічний стан рослин *in vitro* та на основі цього оптимізувати їх фізико-хімічні умови культивування. Важливим показником ефективності роботи фотосинтетичного апарату (ФСА) рослин є вміст у листках пластидних пігментів, перш за все хлорофілів [4] Chl *a* і *b* – зелені пігменти, які виступають чутливими індикаторами фізіологічного стану рослин [5; 6]. Кількість Chl *a* і *b*, їх сумарний вміст ($a + b$), співвідношення Chl *a* / *b*, вміст каротину, ксантофілів, суми всіх каротиноїдів, співвідношення зелених пігментів до жовтих можуть використовуватися як фізіологічний показник, що характеризує видові, вікові та онтогенетичні особливості рослин [7].

Актуальність досліджень. Враховуючи вищезазначене, необхідним є дослідження стану фотосинтетичного апарату рослин як одного з основних показників розробки успішної технології культивування рослин *in vitro*, адаптації їх до умов *ex vitro*, а отже, *in situ*.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Тематика дослідження відповідає основним напрямкам наукової діяльності лабораторії екології та біотехнології Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка і може розглядатися як один із підходів до вирішення проблеми збереження видів роду *Carlina*.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Умови культивування рослин *in vitro* характеризуються певною інтенсивністю та якістю освітлення, рівнем відносної вологості, складом живильного середовища, вмістом поживних елементів та регуляторів росту, субстратом для культивування [8]. Загальна дія цих факторів викликає зміну складу ФСА рослин, тобто вмісту світлозбирального пігмент-білкового комплексу та співвідношення фотосистем [9]. Своєю чергою модифікації складу та співвідношення пігментів ведуть до фізіологічних, а з часом і до морфологічних змін [10].

В умовах *in vitro* для культивування рослин перспективним є використання люмінесцентних ламп зі збільшеною часткою хвиль синього та червоного спектрів [11]. Їх поєднання забезпечує необхідні умови для росту рослин. Вплив таких ламп на морфо-фізіологічний стан рослин залежить від співвідношення спектрів та потужності ламп [12].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Створення колекцій рослин *in vitro* є ефективним шляхом збереження їх біорізноманіття *ex situ* та невід'ємною складовою частиною загальної стратегії охорони рослин [13]. Важливим і складним аспектом зазначеного методу є отримання

життєздатних рослин та їх успішна адаптація, яка вимагає чітких сприятливих фізичних факторів для ефективного переходу мікропагонів з *in vitro* в природні умови росту видів. Показником фізіологічного стану рослин виступає кількість Chl *a* і *b*, їх сумарний вміст ($a + b$), співвідношення Chl *a* / *b*, вміст каротину каротиноїдів [5; 6]. У науковій літературі приділено увагу питанням біоморфологічних особливостей, географічного поширення та введення в культуру *in vitro* видів роду *Carlina* [1; 14–21]. Однак відсутні відомості, які стосуються особливостей впливу освітлення *in vitro* на вміст та співвідношення пігментів досліджуваних видів рослин.

Новизна. У роботі вперше вивчено залежність вмісту фотосинтетичних пігментів у рослинах деяких видів роду *Carlina* від умов освітлення *in vitro*, а також проведено порівняння отриманих показників із вмістом та співвідношенням пігментів у рослинах із природних місць росту.

Методологічне або загальнонаукове значення. Із літературних джерел відомо, що стан асиміляційного апарату листків рослин, характеризується вмістом, складом та коефіцієнтом співвідношення фотосинтетичних пігментів [22]. Тому метою роботи було отримання та вкорінення *in vitro* рослин деяких видів роду *Carlina*, дослідження особливостей функціонування їх фотосинтетичного апарату за різних світлових умов та порівняння цих показників з аналогічними в рослинах із природних місць росту.

Для введення в культуру *in vitro* слугувало насіння *C. cirsioides* та *C. onopordifolia*, зібране на г. Голиці (с. Гутисько, Бережанський район, Тернопільська область, 295 м н.р.м), та *C. acaulis* (с. Лазещина, Рахівський район, Закарпатська область, 714 м н.р.м.).

Для отримання асептичних проростків *C. acaulis*, *C. onopordifolia* та *C. cirsioides* насіння стерилізували за такою схемою: 1) обробка розчином детергенту протягом 30 хв; 2) промивання проточною водою протягом 30 хв; 3) 2-кратне промивання дистильованою водою; 4) поверхнева стерилізація 96% етанолом протягом 10 секунд; 5) витримання у 15%-му розчині H_2O_2 протягом 35 хв; 6) 2-кратне промивання стерильною дистильованою водою.

Простерилізоване насіння висаджували в стерильні чашки Петрі на агаризоване живильне середовище Мурасіге, Скуга (МС) [23] з половинним вмістом макро- та мікросолей (МС/2) без регуляторів росту. Пророщували на освітлення 2000 лк та температури $+20 - +22^\circ C$, вологості 80%.

Для з'ясування особливостей вкорінення рослин визначали відсоток вкорінення за формулою:

$$BB = \frac{Nr}{N},$$

де Nr – кількість рослин, на яких утворилися корені, N – кількість висаджених рослин.

Для покращення вкорінення проростки та насіння замочували у розчині регулятора росту – індол-3-масляної кислоти (ІМК). Отримані асептичні рос-

лини відкашників висаджували в живильне середовище МС без регуляторів росту.

Для визначення вмісту хлорофілів і каротиноїдів у листках використовували 4–5-місячні рослини *in vitro*.

Для з'ясування впливу інтенсивності освітлення та спектрів випромінювання на зміну структурно-функціональних параметрів мікроклонально розмножених *in vitro* 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 фітолампі Fluora L36W/77 G13 (ФЛ) фірми «OSRAM» (Німеччина). Світловий потік ЛХБ згідно з технічними даними 2700 люмен, його інтенсивність в області ФАР (7,5 Вт/м²), спектральний склад у 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 [24]). ФЛ мають такі характеристики: інтенсивність в області ФАР – 35,28 Вт/м² або 28,22 Вт/м² 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 [24]. Застосування цих ламп дозволило спочатку здійснити 3 варіанти корекції спектрального складу (СК), а саме: **1.1 варіант** – інтенсивність світлового потоку в області ФАР 85 Вт/м², лампи ЛХБ, сумарний спектральний склад: Ес : Ез : Еч = 33% : 42% : 25%; **2 варіант** – інтенсивність світлового потоку в області ФАР 135 Вт/м², співвідношення ламп ЛД до ЛХБ та ФЛ становить 0,6 : 1 : 1, спектральний склад: Ес : Ез : Еч = 29,5% : 32,5% : 38,1%; **2.1 варіант** – інтенсивність 100 Вт/м², співвідношення ламп ЛХБ до ФЛ – 0,7:1,0, спектральний склад Ес : Ез : Еч = 25% : 27% : 48%.

Пігменти екстрагували із листкових висічок диметилсульфоксидом [ДМСО, (СН₃)₂SO₂] за методикою Б. Х. Межунца [25] при 65°C із наступним визначенням коефіцієнтів екстинкції отриманих розчинів на спектрофотометрі СФ-46 для хлорофілів *a* (*Chl a*), *b* (*Chl b*) і суми каротиноїдів (*Carot*) за довжин хвиль 663, 645 і 440,5 нм відповідно. Концентрацію хлорофілів вираховували за формулою Макінні-Арнона: $Chl a = 12,7E_{663} - 2,69E_{645}$; $Chl b = 22,9E_{645} - 4,68E_{663}$; суму каротиноїдів – за формулою Веттштейна: $Carot = 4,695E_{440,5} - 0,268(a+b)$, де *E* – показник спектрофотометра [25]. Вміст пігментів розраховували у мг на 100 г сирової маси листків [26].

Статистичну обробку даних виконано за допомогою програмного забезпечення Prism 6. Критичний рівень значимості під час перевірки статистичних гіпотез у дослідженні приймався рівним 0,05.

Виклад основного матеріалу. Відомо, що схожість насіння залежить від пори року, оскільки за

цей період відбуваються закономірні зміни фізичних явищ (температури, освітлення, вологості тощо). Вказані модифікації викликають в еволюції виду річний біологічний ритм проростання насіння. Завдяки такій адаптації проростання насіння пристосовується до найсприятливішої пори року. За літературними джерелами, в природних умовах відкашники розмножуються насінням, яке не має періоду спокою [27].

Перші сходи рослин обох видів з'являлися вже на 7–9 добу, проте інколи проростання відбувалося на 12–16 добу. Нами встановлено, що за умови використання зазначеної вище схеми стерилізації схожість насіння *C. cirsioides* становила 81,1%, *C. onopordifolia* (с. Гутисько) – 82,9%, а для *C. acaulis* – 74,7% (рис. 1).

Відомо, що інтенсивність проростання рослин роду *Carlina* коливається протягом року: найоптимальніший період схожості припадає на весняні та осінні місяці. У результаті нами було визначено, що рослини досліджуваних видів активніше проростають в осінні (жовтень, листопад) та весняні (березень) місяці, порівняно із зимовими (грудень). Також було виявлено вищий ступінь інфікування висадженого насіння у зимові місяці. Проведення тривалішої стерилізації 15%-им Н₂О₂ спричинило зниження показників схожості насіння внаслідок пригнічення життєздатності насіння.

Отримані рослини культивували на живильному середовищі МС та МС/2, доповненому такими регуляторами росту: НОК, ІОК, ІМК у концентрації від 0,01 мг/л до 0,1 мг/л. За таких умов відсоток формування у рослин коренів становив менше 50%. Використання рідких живильних середовищ із містками з фільтрувального паперу та з поролоновими дисками не дало позитивних результатів, оскільки через низьку здатність до ризогенезу висаджені рослини відкашників через 2–3 місяці гинули. Тому подальші дослідження були спрямовані на поєднання в живильному середовищі регуляторів росту, що стимулювало б ефективніший ризогенез.

Процес коренеутворення і подальша адаптація до ґрунтових умов є найбільш складними етапами при культивуванні рослин в умовах *in vitro* для будь-якого рослинного матеріалу [28]. Ця проблема стосується і рослин роду *Carlina*, проростки і регенеранти яких характеризуються низьким ризогенезом та адаптаційною здатністю, що пов'язано з особливостями будови кореня [29; 30].

У зв'язку з низькою ефективністю вкорінення, нами продовжено пошук підходів для покращення цього процесу. Стимуляція коренеутворення у проростків відкашників проводили шляхом замочування насіння цих видів перед стерилізацією та проростків *in vitro* у розчині ІМК. Виявлено, що ефективнішим є замочування у розчині ІМК насіння, оскільки воно, на відміну від замочування проростків, не лише забезпечує покращення основних параметрів вкорінення рослин, прискорює розвиток кореневої

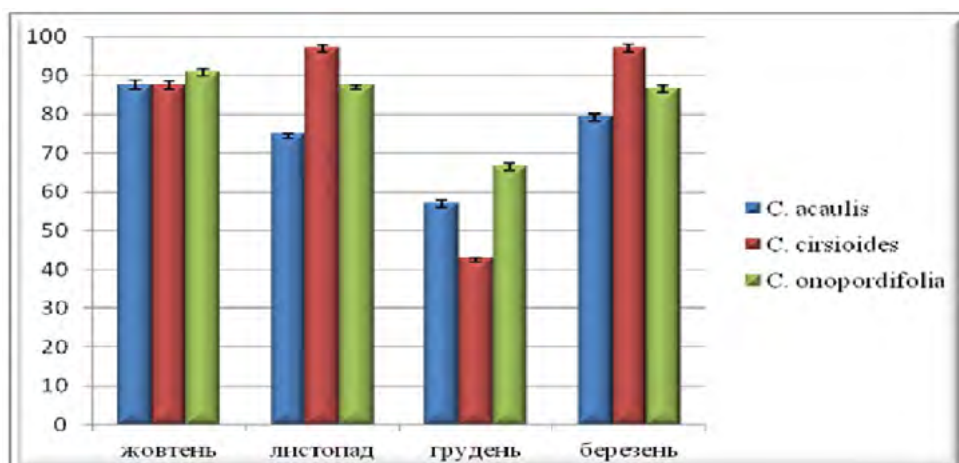


Рис. 1. Схожість насіння *C. cirsioides*, *C. onopordifolia* та *C. acaulis* *in vitro*

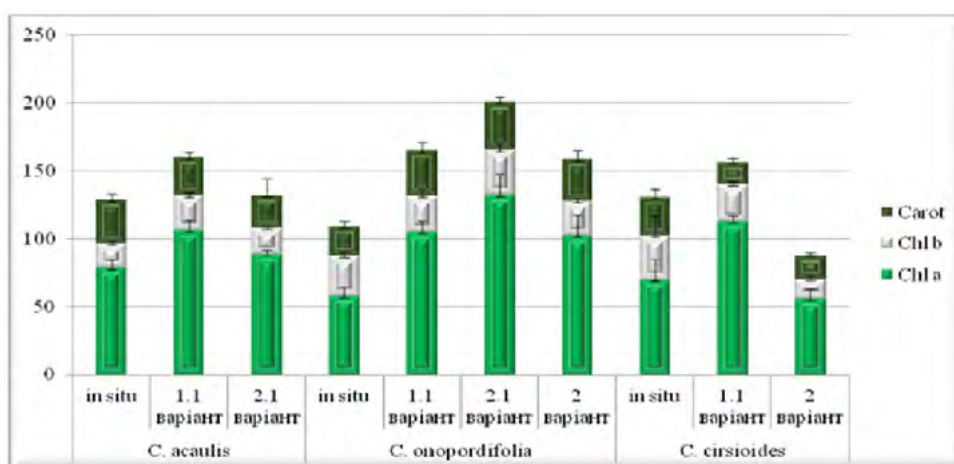


Рис. 2. Вміст пігментів у культивованих *in vitro* рослинах видів роду *Carlina* за різних варіантів освітлення

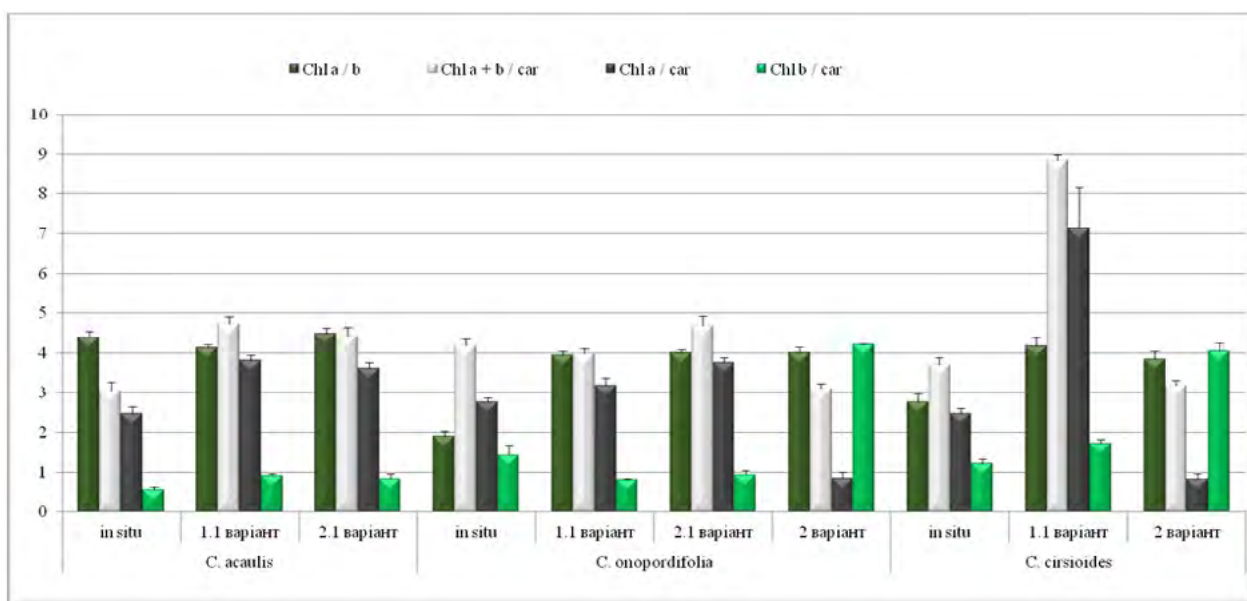


Рис. 3. Відношення пігментів у культивованих рослинах *in vitro* видів роду *Carlina* за різних варіантів освітлення

системи, але й спрощує процес пересаджування та вирощування рослин *in vitro* [1, с. 31].

У результаті за попереднього замочування насіння в нестерильному розчині ІМК (1000 мг/л) упродовж 2–4 годин нам вдалося як підвищити відсоток вкорінення рослин *C. cirsioides* та *C. onopordifolia* до 100%, *C. acaulis* до 80%, так і уникнути травмування проростків та змін концентрації розчину ІМК, які можуть виникати під час стерилізації за високих температур.

Як уже зазначалося, світловий режим викликає модифікацію гормонального балансу рослин, який відповідає за процеси росту та розвитку [32]. Умови освітлення чинять значний вплив на структурно-функціональний стан рослин та їх адаптацію загалом. У зв'язку з цим введені в культуру *in vitro* рослини роду *Carlina* в подальшому культивували за різних варіантів освітлення. При цьому важливу роль відіграють якість світла, його інтенсивність та тривалість дії [33; 34].

За результатами наших попередніх досліджень встановлено, що відмінності еколого-географічних і фітоценотичних місць росту видів впливають на загальний вміст пігментів, а також позначаються на вмісті кожної їх групи та співвідношенні відповідно [35].

Проведені дослідження виявили, що пігментний комплекс культивованих *in vitro* рослин суттєво реагує на зміну світлового режиму їх вирощування. Відповідь рослин *in vitro* на світлові умови залежить від біологічних особливостей видів, сформованих у результаті тривалої еволюції. Саме це і є причиною значних відмінностей кількісного складу пігментного комплексу рослин *in vitro* видів, незважаючи на те, що вони перебувають за однакових світлових умов культивування.

В умовах 1.1 варіанту в рослин виду *C. acaulis* на фоні загального зростання вмісту пігментів відбувається незначне зменшення відношення *Chl a/b*, що зумовлено збільшенням розміру світлозбирального комплексу фотосистем, а отже, і *Chl b* у зв'язку з низькою інтенсивністю освітлення [36]. У процесі досліджень визначено, що використання ламп 2.1 варіанту веде до зниження кількості загального вмісту пігментів у рослинах *C. acaulis*, тобто до значень, які притаманні рослинам *in situ* (рис. 2). Співвідношення *Chl a/b* при вказаних світлових умовах (варіант 2.1) також є близьким до рослин із природних місць росту (рис. 3). Аналіз інших відношень груп пігментів, зокрема *Chl a/car*, дозволяє припустити, що перебування в штучних умовах освітлення 2.1 варіанту для рослин є менш стресовим, порівняно з умовами природи. На це вказує й вищий вміст каротиноїдів у рослинах. У комплексі це можна трактувати як значну пластичність пігментного комплексу фотосинтетичного апарату рослин *C. acaulis*, а з іншого боку, як погіршення умов росту цього виду в природі, що може бути пов'язано з посиленням аридності клімату, підвищенням температури тощо.

Аналіз отриманих даних свідчить про підвищення вмісту пігментів у видів рослин *C. onopordifolia* за використання ламп 1.1 варіанту, порівняно із природними умовами (рис. 2). Поряд із цим показники відношення *Chl a/b* рослин *in vitro* виду *C. onopordifolia* та *C. cirsioides* зростають, незважаючи на збільшення загального вмісту пігментів (рис. 3), порівняно з особинами видів із природи. Це вказує на те, що зміни кількісного складу пігментів зумовлені не збільшенням розмірів світлозбиральних комплексів фотосистем та, відповідно, вмісту *Chl b*. Вони в усіх видів відбулися за рахунок збільшення вмісту хлорофілу *a*. Ймовірно, співвідношення хвиль $E_c : E_b = 33\% : 25\%$ у спектральному складі 1.1 варіанту ініціює біосинтез хлорофілу *a*, який має спектри поглинання в обох діапазонах ФАР. При цьому поглинає в синьому діапазоні у 1,3 раза більше енергії, ніж у червоному [37]. Таким чином, аналіз показників свідчить про реакцію пігментного комплексу рослин роду *Carlina* як на інтенсивність світлового потоку, так і на спектральний склад світла.

Культивування рослин *in vitro* *C. onopordifolia* за впливу світлових умов 2.1 варіанту спричиняє збільшення загального вмісту пігментів, порівняно з рослинами *in situ*. Показники співвідношення *Chl a/b* наближаються до значень у рослин із природних місць зростання (рис. 3). Проте збільшується вміст хлорофілу *b* та каротиноїдів, що супроводжується й збільшенням значень *Chl a/car* і *Chl b/car*, порівняно з рослинами *in situ*. 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. 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. Критично низьке (0,85) значення *Chl a/car* ознакою перебування рослин в умовах сильного стресу, а аномально високий (4,2) показник *Chl b/car* вказує на критично високу частку хвиль E_b діапазону у спектральному складі світла. Відомо, що хлорофіл *b* здатний виконувати функцію терморегулювання. Це пов'язано з тим, що максимум його поглинання знаходиться у більш короткохвильовому E_c діапазоні, кванти якого володіють меншим тепловим ефектом, порівняно із E_b областю. Тому, збільшення частки хлорофілу *b* у пігментному комплексі є адаптивною властивістю, що зменшує небезпеку перегріву рослин. Відповідно, світлові умови 2 варіанту найбільше не відповідають природним потребам виду *C. onopordifolia*, значно більше до них наближений світловий режим 1.1 варіанту.

За культивування рослин *in vitro* *C. cirsioides* за умов 1.1 варіанту визначено зростання співвідношень хлорофілів до каротиноїдів, порівняно з рослинами природних місць зростання (рис. 3). Застосування 2 варіанту освітлення зумовило зни-

ження *Chl a* та *Chl b* порівняно з умовами *in situ*. Аналіз результатів показав, що обидва варіанти умов культивування є стресовими та несприятливими для вказаного виду рослин. Ймовірно, отримані результати досліджень пов'язані з приналежністю *C. cirsioides* до тіньовитривалих рослин, для яких інтенсивність світлового потоку знаходиться в межах 70 Вт/м² [38].

Головні висновки. Отже, підібрано умови для отримання та вкорінення рослин *C. acaulis*, *C. onopordifolia* та *C. cirsioides*. Встановлено, що найвищою схожість насіння цих видів була у жовтні: для *C. acaulis* та *C. cirsioides* – 87,5%, а для *C. onopordifolia* – 91%. Найефективнішим для формування кореневої системи у рослин *C. acaulis*, *C. cirsioides* та *C. onopordifolia* виявилось замочування насіння цих видів перед стерилізацією у розчині ІМК концентрацією 1000 мг/л протягом 2–4 год.

Досліджено вміст пігментів у фотосинтетичному апараті рослин видів *C. acaulis*, *C. onopordifolia*, *C. cirsioides* в умовах *in vitro*. Встановлено, що особливості світлового режиму впливають на вміст пігментів у культивованих рослинах. Реакція рослин

на різні умови освітлення *in vitro* залежить, у першу чергу, від еволюційно сформованих особливостей виду. У зв'язку з цим, ідентичні світлові режими викликають різну реакцію, а отже, і співвідношення пігментів у досліджуваних рослин *in vitro*.

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 жоден із протестованих світлових режимів не відповідає фізіологічним потребам виду *C. cirsioides*, що пов'язано з інтенсивністю їх світлових потоків, яка виходить за межі діапазону значень, властивих для тіньовитривалих видів.

Перспективи використання результатів досліджень. Результати наших досліджень не лише значно поглиблюють знання про особливості введення в культуру *in vitro* рослин *C. acaulis*, *C. onopordifolia* та *C. cirsioides* та характеристику їх фотосинтетичного апарату, але й можуть бути використаними для успішної реалізації програм зі збереження та відновлення популяцій цих рідкісних таксонів на території України.

Література

1. Кравець Н.Б., Мосула М.З., Тулайдан Н.В., Четирбок М.Б., Дробик Н.М. Особливості вкорінення *in vitro* рослин деяких видів роду *Carlina* L. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2017. Том 20.
2. Червона книга України. Рослинний світ / За ред. Я.П. Дідуха. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
3. Грицак Л.Р., Дробик Н.М. Розробка технології збереження високогірних видів роду *Gentiana* L. із використанням стратегії «Quasi» *in situ* та методів біотехнології. *Екологічні науки*. 2019. № 25. С. 169–176
4. Ліханов А.Ф., Рожко М.С., Кльоваденко А.А. Динаміка вмісту пластидних пігментів у листках смородини чорної (*Ribes nigrum* L.). *Науковий вісник НЛТУ України*. 2016. № 26.5. С. 73–79.
5. Гродзинский А.М., Гродзинський Д.М. *Краткий справочник по физиологии растений*. Киев : Наук.думка, 1973. 591 с.
6. Oquist G. Effects of low temperature on photosynthesis. *Plant Cell Environ.* 1983. № 6. P. 281–300.
7. Физиология растений: лабораторный практикум для студентов биологического факультета / А. П. Кудряшов [и др.]. Минск : БГУ, 2011. С. 76. URL : <http://www.elib.bsu.by>.
8. Balla I., Vértesy J., Végváry Gy. Nutrition of the micropropagated fruit trees *in vitro* and *ex vitro* *Int. Journal of Hort. Sci.* 2003. № 9(2). P. 43–46.
9. Melis A. Dynamics of photosynthetic membrane composition and function. *Biochim. Biophys. Acta.* 1991. 1058, N 1. P. 87–106.
10. Левчук А.Н. Влияние уровня освещения на пигментный состав разных типов хлорофильных мутантов льна масличного. *Вісник Запорізького національного університету*. 2009. № 2. С. 15–20.
11. Шпак М.Ю., Никонович Т.В. Особенности развития растений-регенерантов земляники садовой (*Fragaria* × *Ananassa* Duch.) в культуре *in vitro* при различном освещении. *Вестн. БГСХА*. 2015. № 3. С. 73–78.
12. Федорова Ю.Н., Лебедева Н.В. Влияние света разного спектрального состава на рост растений картофеля *in vitro*. *Известия Великолукской ГСХА*. 2016. № 4. С. 2–7.
13. Андреев Л.Н., Горбунов Ю.Н. Сохранение редких и исчезающих растений *ex situ*: достижения и проблемы. *Изучение и охрана разнообразия фауны, флоры и основных экосистем Евразии*. Москва, 2000. С. 19–23.
14. Манівчук Ю.В. Зміна ролі *Carlina acaulis* L. у сукцесійних процесах лучних біогеоценозів під впливом біогенних добрив. *Науковий вісник УжНУ: Біологія*. 2007. Випуск 20. С. 40–44.
15. Конечна Р.Т., Петріна Р.О., Федорова О.В. Одержання культури тканин відкасника безстеблевого (*Carlina acaulis*) – джерела біологічно активних сполук. *Актуальні проблеми синтезу і створення нових біологічно активних сполук та фармацевтичних препаратів* : національна науково-технічна Інтернет-конференція з міжнародною участю, 23–25 квітня 2013 р.: тези доповідей. Львів, 2013. С. 63–64.
16. Зеленчук Т.К., Зеленчук А.Т. Онтоморфогенез и жизненная форма *Carlina cirsioides* Klok в условиях Западной Подолии. Львів, 1996. 13 с.
17. Скоропляс І.О. Рідкісні види роду *Carlina* L. флори України (географічне поширення, структура популяцій, охорона) : дис. ... канд. біол. наук : 03.00.05. Київ, 2015. 240 с.
18. Лікарські рослини: Енциклопедичний довідник / Відп. ред. А.М. Гродзінський. Київ : Видавництво «Українська Енциклопедія» ім. М.П. Бажана, Український виробничо-комерційний центр «Олімп», 1992. 544 с.
19. Pence V.C., Sandoval J.A. Controlling contamination during *in vitro* collecting. *In vitro* collecting techniques for germplasm conservation. Rome, 2002. P. 30–40.

20. Бабикова А.В., Горпенченко Т.Ю., Журавлев Ю.Н. Растение как объект биотехнологии. *Комаровские чтения*. 2007. № LV. С. 184–212.
21. Trejgell A., Bendarek M., Tretyn A. Micropropagation of *Carlina acaulis* L. *Acta Biol. Cracov.* 2009. Vol. 51, № 1. P. 97–103.
22. Злобин Ю.А. Популяционная экология растений: современное состояние, точки роста : монография. Сумы : Университетская книга, 2009. 263 с.
23. Murashige T.A., Skoog F. Revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 1962. Vol. 15, №13. P. 473–497.
24. 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.
25. Межунц Б.Х., Навасардян М.А. Количественная характеристика фотосинтетических пигментов травяных растений горных экосистем Армении. *Вестник Тюменского государственного университета*. 2012. № 12. С. 220–226.
26. Фізіологія рослин: навчальний практикум / О.В. Войцехівська та ін. Луцьк : Терен, 2010. 420 с.
27. Зеленчук Т.К., Зеленчук А.Т. Насінне розмноження та поновлення *Carlina cirsioides* Клок. на Західному Поділлі. *Укр. ботан. журнал*. 1987. Т. 44, № 2. С. 17–20.
28. Trejgell A., Dąbrowska G., Tretyn A. *In vitro* regeneration of *Carlina acaulis* subsp. *simplex* from seedling explants. *Acta Physiol Plant.* 2009. N 31. P. 445–453.
29. Гавриленко Н.О., Слепченко Л.О. Интродукція відкасника татарниколистого *Carlina onopordifolia* Bess. ex Szaf., Kulcz. et Rawl в дендропарку «Асканія-Нова». *Вісник Біосферного заповідника «Асканія-Нова»*. 2010. Т. 12. С. 100–106.
30. 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 Агроекологія*. Харків : УкрНДЦЛГА, 2009. Вип. 115. 245 с.
31. Trejgell A., Tretyn A. Shoot multiplication and *in vitro* rooting of *Carlina onopordifolia* Basser. *Acta Biol. Cracov.* 2011. V. 53, N 2. P. 68–72.
32. Карначук Р.А., Гвоздева Е.С. Влияние света на баланс фитогормонов и морфогенез в культуре ткани зародышей пшеницы. *Физиология растений*. 1998. Т. 45, № 2. С. 289–295.
33. 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.
34. Lau O.S., Deng X.W. Plant hormone signaling lightens up: integrators of light and hormones. *Current Opinion in Plant Biology*. 2010. Vol. 13 (5). P. 571–577. doi: 10.1016/j.pbi.2010.07.001.
35. Кравець Н.Б., Грицак Л.Р., Прокоп'як М.З., Майорова О.Ю., Дробик Н.М. Вміст фотосинтетичних пігментів у рослинах роду *Carlina* L. у природі та культурі *in vitro*. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія: Біологія. 2019. № 4 (78). С. 16–23.
36. 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.
37. Маргітай Л., 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.
38. 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.