DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-10
УДК 632.51

В. С. ФЕДЕНКО, канд. хім. наук, с. н. с.,
старший науковий співробітник Науково-дослідного інституту біології
e-mail: opticlab.fedenko@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4696-6981
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
проспект Науки, 72, м. Дніпро, 49045, Україна

СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КВІТОК ІНВАЗІЙНОГО ВИДУ-ГЕЛІОФІТУ *ERIGERON CANADENSIS L.*

Мета. Визначення спектральних характеристик квіток *Erigeron canadensis L.* для підтвердження фотопротекторного ефекту флавоноїдів та ідентифікації сировини.

Методи. Спектри відбиття отримували в діапазоні 350–800 нм. Колориметричні параметри визначали в системах CIE *XYZ* та CIE *L*a*b**. Для додаткової ідентифікації флавоноїдів проводили екстракцію квіток ізопропанолом та хемосорбцію сполук з екстракту на поверхні біосумісного оксиду алюмінію із наступним визначенням спектральних характеристик.

Результати. Відбір квіток проводили на стадії цвітіння на відкритій території лука біля річки Мокра Сура (Новоолександрівка, Дніпропетровська область) з урахуванням, що найкращий розвиток геліофітів спостерігається за умов повного освітлення. Вперше визначено відбивальні та колориметричні характеристики квіток для з'ясування світлопоглинальної здатності злинки канадської як інвазійного виду-геліофіту на стадії цвітіння. Визначальною особливістю спектрів відбиття квіток є підвищення інтенсивності максимуму УФ-поглинальних флавоноїдів порівняно із каротиноїдами та хлорофілами, які локалізовані у поверхневих тканинах. Диференціювання спектральної кривої відбиття квіток виявилось ефективним способом збільшення ступеня розподілення виявлених максимумів. Досліджені квітки також охарактеризовано специфічною сукупністю колориметричних параметрів. Флавоноїди як біологічно активні компоненти ідентифіковані завдяки хелатувальним властивостям шляхом хемосорбції із рослинного екстракту на біосумісному оксиді алюмінію та наступного визначення відбивальних та колориметричних характеристик продукту взаємодії.

Висновки. Підвищена локалізація флавоноїдів, що поглинають ультрафіолет, у поверхневих тканинах квіток обумовлює збільшення фотопротекторної здатності як адаптивне підсилення репродуктивної системи інвазійного виду-геліофіту. Результати можуть бути застосовані для підтвердження функціональних ознак інвазивності адвентивних рослин, а також для ідентифікації сировини злинки канадської та при використанні ресурсного потенціалу цього виду для отримання біологічно активних препаратів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *злинка канадська, УФ-поглинальні флавоноїди, фотозахисний ефект, відбивальна характеристика, колориметрична характеристика*

Як цитувати: Феденко В. С. Спектральні характеристики квіток інвазійного виду-геліофіту *Erigeron canadensis* l. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2025. Вип. 32. С. 134 - 145. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-10

In cites: Fedenko, V. S. **(**2025). Flowers spectral characteristics of the invasive heliophyte species *Erigeron canadensis l. Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (32), 134 - 145. https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-10 (in Ukrainian)

Вступ

У сучасних дослідженнях інвазійних рослин слід відзначити два актуальних напрями. Перший напрям пов'язують з експериментальним підтвердженням гіпотез, які пояснюють причини інвазійності адвентивних видів [1], а другий – із практичним використанням ресурсного потенціалу інвазійних рослин за різним призначенням [2].

© Феденко В. С., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.

Серед інвазійних рослин привертає увагу злинка канадська *Erigeron canadensis* L. з огляду на інтенсивне поширення у різних регіонах світу [3-5]. *E. canadensis* відзначають як один із найпоширеніших адвентивних видів рослин в Європі [6] та у міських центрах світу згідно репозиторію Global Urban Biological Invasions Compendium (GUBIC) [7]. Злинку канадську вважають одим із домінантних видів у піонерній та рудеральній рослинності в Україні [8] та як вид-трансформер у рудеральних ценозах [9]. При формуванні рослинних угруповань у процесі відновлювальних сукцесій спостерігали зміну типу стратегій зі збільшенням частки конкурентоспроможних інвазійних видів, у тому числі *E. canadensis* [10]. Цей вид рослин поширений в екотопах лісового господарства [11], біосферних заповідниках України [12] та антропогенно трансформованих територіях після розроблення родовища корисних копалин [13]. Злинка канадська є одним із найпоширеніших інвазійних видів у процесах синантропізації рослинного покриву України внаслідок мілітарних порушень різного типу: лісові вирубки [14], фортифікаційні споруди [15], території колишнього Каховського водосховища [16].

Як відомо, інтенсивне поширення інвазійних рослин обумовлено сукупністю функціональних ознак, серед яких відзначають репродуктивну ефективність, що забезпечує високу насіннєву продуктивність і створює у ґрунті довговічний банк насіння, здатного до проростання упродовж багатьох років [17]. Саме така висока насіннєва продуктивність характерна для *E. canadensis*, оскільки одна рослина може продукувати до 200 000 насінин із летючкою, які легко розсіюються вітром на великі відстані [5]. Важливою стадією формування життєздатного насіння є фаза цвітіння. *E. canadensis* має розгалужене, верхівкове, волотеподібне суцвіття, що складається з дрібних численних кошиків, у яких крайові квітки — маточкові, вузькоязичкові, білуваті, а серединні — двостатеві, трубчасті, жовті [5]. Для квіток цього виду переважає самозапилення із можливою участю універсальних комах-запилювачів [18]. За відношенням до світла злинку канадську відносять до геліофільних рослин із високим значенням показника світлового фактору 7,8 згідно фітоіндикаційної шкали за типом Елленберга [19]. Оскільки геліофіти пристосовані до існування при повному сонячному освітленні у відкритих екосистемах, висока інтенсивність світла може спричиняти пошкодження важливих біологічних структур від УФ випромінювання. Тому геліофіти як одну із життєвих стратегій використовують механізм фотозахисту [20]. Такий механізм, як правило, реалізується завдяки локалізації у поверхневих рослинних тканинах УФ-поглинальних спеціалізованих метаболітів, які виконують роль УФ-фільтра та захищають від шкідливого впливу випромінювання цього спектрального діапазону [21]. Серед таких метаболітів відомі фенольні сполуки, спектральні властивості яких забезпечують фотопротекторну функцію [22]. Разом із тим, фотопротекторна роль фенольних сполук у квітках *E. canadensis* на стадії цвітіння недосліджена. Найбільш адекватним методом дослідження такої ролі, на нашу думку, є спектроскопія відбиття, що дозволяє моделювати процес взаємодії сонячного випромінювання залежно від довжини хвилі зі світлопоглинальними сполуками, які локалізовані у поверхневих тканинах квіток [23].

У контексті використання ресурсного потенціалу інвазійних рослин для злинки канадської слід відзначити декілька напрямів. Так, при розкладанні біомаси *E. canadensis* у результаті метаногенезу отримують біогаз [24]. Висока толерантність до несприятливих умов середовища дозволила рекомендувати цей рослинний об’єкт для фіторемедіації територій, забруднених металами [25, 26]. З використанням екстракту злинки канадської здійснюють синтез Cu–вмісних наночастинок для екологічного та біомедичного застосування [27]. Траву *E. canadensis* використовують як лікарську рослинну сировину (*Herba Erigeronis canadensis*) [28]. Наявність комплексу біологічно активних речовин обумовлює антидіарейні, кровоспинні, протизапальні, протигрибкові, протимікробні, антигельмінтні, діуретичні, гемостатичні, болетамувальні, жарознижувальні, антиоксидантні властивості препаратів злинки канадської [28, 29]. Виявлено протикашльовий ефект і властивість модулятора клітинної імунної відповіді для поліфенольного полісахаридно-білкового комплексу, який виділено із квіток *E. canadensis* [30, 31].

Разом із тим, дотепер не досліджені хелатувальні властивості флавоноїдів як одного з основних біологічно активних компонентів злинки канадської для створення нових біогібридних матеріалів.

Відповідно до сучасних вимог для удосконалення ідентифікації сировини злинки канадської доцільно використовувати інструментальні методи [32]. Таким вимогам задовольняє твердофазна спектрофотометрія у видимому діапазоні, яка поєднує визначення відбивальних характеристик та фізичних параметрів кольору пігментованих тканин квіток [23]. Оскільки траву *E. canadensis* заготовляють під час цвітіння рослин, представляло інтерес дослідити спектральні характеристики квіток для з'ясування можливості використання цього неруйнівного методу для стандартизації рослинної сировини.

Мета роботи – визначити спектральні характеристики квіток злинки канадської для підтвердження фотопротекторного ефекту флавоноїдів та ідентифікації сировини.

Об'єкти та методи дослідження

За об'єкт дослідження обрано злинку канадську *E. canadensis* (*Conyza canadensis* (L.) Cronquist). Оскільки злинка належить до групи світлолюбних рослин, відбір квіток (крайові та серединні) проводили на стадії цвітіння у серпні 2024 р. на відкритій території лука біля річки Мокра Сура (Новоолександрівка, Дніпровський район, Дніпропетровська область) з урахуванням, що найкращий розвиток геліофітів спостерігається за умов повного освітлення.

Екстракцію квіток ізопропанолом та хемосорбцію сполук із екстракту на поверхні оксиду алюмінію проводили за рекомендаціями роботи [33].

Аналогічні умови вимірювання відбивальних і колориметричних параметрів квіток та іммобілізованого препарату (адсорбату) створювали за рахунок користування стандартним тримачем твердих зразків за умови повного покриття поверхні (діаметр 2 см).

Спектри відбиття отримували в діапазоні 350–800 нм на спектрофотометрі Specord M40 (Німеччина), додатково обладнаному приставкою з фотометричною кулею і касетою «Data Handling I» для математичної обробки результатів вимірювання, що дозволило проводити диференціювання і згладжування спектральних кривих із виключенням випадкових шумових піків [33]. Корекцію 100%-ої лінії проводили за стандартом MgO, оптичної нульової точки – за стандартом чорного порожнистого тіла. Інтенсивність спектрів відбиття наводили в одиницях абсорбції.

Для колориметричних вимірювань використовували спектрофотометр Specord M 40 з іншою касетою для математичної обробки «Color Measurement». Координати кольору (*X, Y, Z*) та координати кольоровості (*x, y*) визначали в системі CIE *XYZ*. Домінувальну довжину хвилі λ_d та умовну чистоту кольорового тону P_e встановлювали графічним способом за координатами зразків у кольоровому просторі [33]. У колориметричній системі CIE *L*a*b** визначали інтегральний коефіцієнт яскравості *L** та колориметричні коефіцієнти *a** (співвідношення зеленого та червоного складників кольору) і *b** (співвідношення синього та жовтого складників кольору).

Похибка вимірювань спектральних параметрів не перевищувала 5 %. Статистичну обробку експериментальних даних проводили з 5 % рівнем значущості.

Результати та обговорення

Відбивальна здатність квіток охарактеризована наявністю декількох максимумів, обумовлених сполуками із різними хромофорними системами (рис. 1). Інтенсивний максимум при 360 ($\lambda_{1к}$) і перегин при 380 ($\lambda_{2к}$) нм віднесено до УФ-поглинальних флавоноїдів, серед яких за даними [34] у суцвіттях *E. canadensis* переважають похідні кемпферолу. Інші максимуми у спектрі пов'язані із такими біохромами: каротиноїди і смуга Соре хлорофілів – 480 нм ($\lambda_{3к}$), продукти катаболізму хлорофілів – 580 ($\lambda_{4к}$) і 620 нм ($\lambda_{5к}$), Q-смуга хлорофілів – 675 нм ($\lambda_{6к}$) [35].

Для порівняльної характеристики смуг використано співвідношення оптичної густини найінтенсивнішого короткохвильового максимуму $A_{1к}$ (1,06) та оптичної густини інших максимумів $A_{2к}$ (0,98), $A_{3к}$ (0,52), $A_{4к}$ (0,28), $A_{5к}$ 0,29), $A_{6к}$ (0,42).

Аналізуючи розраховані величини співвідношень, слід зазначити, що відносно максимуму $\lambda_{1к}$ тільки максимум $\lambda_{2к}$ мав порівняну інтенсивність, тоді як для інших максимумів цей показник був нижчим на 51 – 74 % ($A_{2к}/A_{1к}$ – 0,92; $A_{3к}/A_{1к}$ – 0,49; $A_{4к}/A_{1к}$ – 0,26; $A_{5к}/A_{1к}$ – 0,27; $A_{6к}/A_{1к}$ – 0,40).

Для збільшення ступеня розподілення виявлених максимумів проведено диференціювання спектральної кривої відбиття квіток. Перша похідна спектру представлена шістьома смугами, кожна із яких складалась із відповідних максимуму і мінімуму (рис. 1). Положення цих екстремумів на спектральній кривій наведено у табл. 1.

Підвищена інтенсивність максимумів $\lambda_{1к}$ і $\lambda_{2к}$ у спектрах відбиття підтвердила фотопротекторний ефект флавоноїдів, ідентифікованих у суцвіттях *E. canadensis* [34]. Функціонування цих сполук як світлофільтрів для поглинання фотонів УФ-радіації [22] пов'язано із визначальним фактором ступеню фотозахисту, який обумовлено наявністю двох смуг із високою поглинальною здатністю в УФ-А (315–400 нм) та УФ-В (280–315 нм) діапазонах [36].

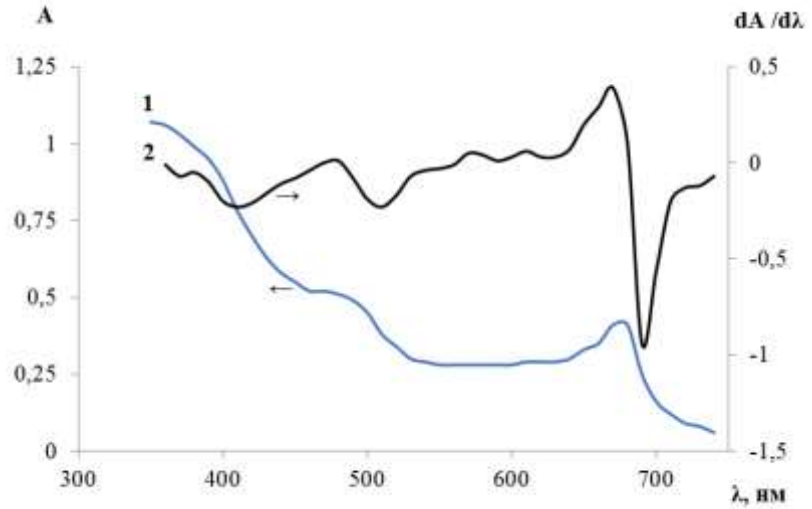

Рис. 1 – Спектр відбиття (1) і перша похідна спектру (2) квіток *E. canadensis*
Fig. 1 – Reflectance spectrum (1) and first derivative of the spectrum (2) of *E. canadensis* flowers

Таблиця 1

Характеристика смуг першої похідної спектру відбиття квіток *E. canadensis*

Table 1

Characteristics of the bands of the first derivative of the reflectance spectrum of *E. canadensis* flowers

Смуга	$\lambda_{макс}$, нм	$\lambda_{мін}$, нм
I	358	372
II	375	415
III	478	511
IV	580	598
V	612	626
VI	664	692

У результаті перетворення спектрального розподілу інтенсивності відбиття залежно від довжини хвилі отримано відповідні колориметричні параметри квіток (табл. 2).

Наявність у спектрі відбиття максимумів $\lambda_{2к}$, $\lambda_{3к}$ обумовила стимул із домінувальною довжиною хвилі квіток у діапазоні жовтого кольору (табл. 2). Значення величини умовної чистоти кольорового тону є результатом суперпозиції декількох стимулів різних біохромів (флавоноїди, каротиноїди, хлорофіли) згідно фізичної закономірності

Таблиця 2

Колориметричні характеристики квіток *E. canadensis* і адсорбату з екстракту квіток на оксиді алюмінію

Table 1

Colorimetric characteristics of *E. canadensis* flowers and flower extract adsorbate on aluminum oxide

Колориметричний параметр	Квітки	Адсорбат із екстракту квіток на Al_2O_3
λ_d, нм	578,2	578,7
P_e, %	33,57	18,27
L^*	76,64	103,04
a^*	-12,15	-15,11
b^*	-28,89	-59,67

складання кольорів [37]. Встановлені значення коефіцієнтів a^* і b^* визначили координати квіток у кольоровому просторі рівноконтрастної колориметричної системи [37].

Окрім визначення *in vivo* із використанням твердофазної спектрофотометрії, флавоноїди можуть бути ідентифіковані завдяки хелатувальним властивостям шляхом хемосорбції із рослинного екстракту на біосумісному оксиді алюмінію із наступним визначенням спектральних характеристик продукту взаємодії (адсорбату) [33]. Для флавоноїдів, ідентифікованих у суцвіттях *E. canadensis* [34], хелатувальна властивість пов'язана із наявністю сайтів зв’язування металів у структурі цих сполук. У результаті сорбційної взаємодії флавоноїдів із Al_2O_3 отримано адсорбат жовтого кольору. Порівняно із квітками (рис. 1) у спектрі відбиття адсорбату зберігалась наявність максимумів 365 (λ_{1a}), 396 (λ_{2a}) нм (рис. 2), що підтвердило адсорбцію флавоноїдів на поверхні сорбенту. Відсутність у спектрі адсорбату (рис. 2) максимумів, таких як $\lambda_{3к}$ (480 нм), $\lambda_{4к}$ (580 нм), 620 нм ($\lambda_{5к}$), і 675 нм ($\lambda_{6к}$) у спектрі відбиття квіток (рис. 1), свідчило, що адсорбція каротиноїдів і хлорофілів не відбувалась. Батохромне зміщення максимуму λ_{1a} на 5 нм і максимуму λ_{2a} на 16 нм у спектрі адсорбату порівняно із максимумом $\lambda_{1к}$ і $\lambda_{2к}$ у спектрі квіток підтвердило, що сорбційна взаємодія флавоноїдів з поверхнею оксиду алюмінію з екстракту квіток відбувалась шляхом хемосорбції із неасоційованими поверхневими групами ≡AlOH сорбенту [33]. Інтенсивність максимуму λ_{2a} перевищувала інтенсивність

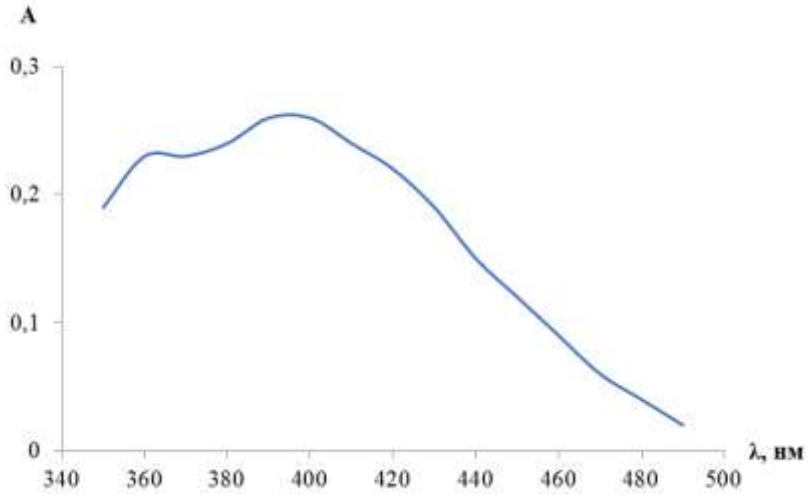

Рис. 2 – Спектр відбиття адсорбату з екстракту квіток *E. canadensis* на оксиді алюмінію
Fig. 2 – Reflectance spectrum of adsorbate from *E. canadensis* flower extract on aluminum oxide

максимуму λ_{1a} у спектрі адсорбату (A_{2a}/A_{1a} – 1,13) на відміну від аналогічного показника у спектрі відбиття квіток.

Додаткові характеристики пігментованого адсорбату отримано у результаті розрахунку колориметричних параметрів (табл. 2). Порівняно із кольоровим стимулом квіток відсутність каротиноїдів і хлорофілів у складі адсорбованих пігментів позначилось на підвищенні домінувальної довжини хвилі іммобілізованого препарату на 0,5 нм у діапазоні жовтого кольору. Тенденція зменшення від'ємних значень також відзначена для колориметричних коефіцієнтів *a** і *b** (табл. 2).

Аналізуючи отримані результати, слід зазначити, що при моделюванні залежно від довжини хвилі взаємодії сонячного випромінювання зі сполуками, які локалізовані у поверхневих тканинах квіток *E. canadensis*, встановлена їхня підвищена світлопоглинальна здатність в УФ-А діапазоні. Така здатність пов'язана із підвищеним накопиченням УФ-поглинальних флавоноїдів у поверхневих тканинах квіток. Відповідно до цифрової бази даних спектрів поглинання флавоноїдів [36] спектральні параметри флавоноїдів, які ідентифіковані у суцвіттях злинки канадської [34], підтверджують їхню значну протекторну здатність відносно УФ-А радіації. Фотозахист генеративних органів на стадії цвітіння забезпечує високу насіннєву продуктивність як одну із характерних інвазійних стратегій *E. canadensis.* Така відмінність відбивальних характеристик квіток цього інвазійного виду, як і встановлена нами раніше для *Ambrosia artemisiifolia* L. [39] може слугувати маркерною ознакою рослин-геліофітів на додаток до високих значень показника світлового фактора у фітоіндикаційній шкалі за типом Елленберга [19]. Слід зазначити, що використані спектральні методи розширюють арсенал підходів для ідентифікації інвазійних рослин на стадії цвітіння [40].

Підвищена світлопоглинальна здатність в УФ-А діапазоні раніше нами також встановлена для квіток ентомофільного інвазійного виду *Erigeron annuus* (L.) Pers., для якого локалізовані у поверхневих тканинах флавоноїди виконують як роль світлофільтра шляхом поглинання фотонів УФ-радіації, так і атрактивну функцію у процесі запилення, оскільки тенденція підвищеного накопичення УФ-поглинальних флавоноїдів відповідає більш ефективному сприйняттю випромінювання максимально чутливого УФ-рецептору запилювачів [23]. Таку тенденцію слід розглядати як адаптивне підсилення репродуктивної системи інвазійних видів [41].

Окрім світлопоглинальної здатності, завдяки своїй поліфункціональності, фенольні метаболіти залучені в інших адаптивних процесах рослин у несприятливих умовах середовища як антиоксиданти та ендогенні хелатори [42]. Підвищена толерантність злинки канадської до високого рівня металів дала підстави рекомендувати цей інвазійний вид для технологій фіторемедіації [25, 26].

Інший аспект отриманих результатів пов'язано із сучасним напрямом використання ресурсного потенціалу інвазійних рослин для отримання біологічно активних речовин [2]. Отримані результати підтвердили перспективність використання спектроскопії відбиття для подальшої розробки методичних підходів стадартизації трави злинки канадської як лікарської сировини на додаток до результатів дослідження фітохімічного профілю флавоноїдів [34, 43, 44]. Встановлена здатність до хемосорбції флавоноїдів з екстракту квіток *E. canadensis* на біосумісном сорбенті може бути використана для концентрування, стабілізації цих природних антиоксидантів, створення біогібридних матеріалів і композицій з твердим дисперсійним середовищем для покращення біофармацевтичних характеристик [45].

Висновки

Визначено відбивальні та колориметричні характеристики квіток для з'ясування світлопоглинальної здатності *E. canadensis* як інвазивного виду-геліофіту на стадії цвітіння.

Визначальною особливістю спектрів відбиття квіток є підвищення інтенсивності максимуму УФ-поглинальних флавоноїдів порівняно із каротиноїдами та хлорофілами, які локалізовані у поверхневих тканинах. Диференціювання спектральної кривої відбиття квіток виявилось ефективним способом збільшення ступеня розподілення виявлених максимумів. Досліджені квітки також охарактеризовано специфічною сукупністю колориметричних параметрів. Підвищена локалізація флавоноїдів, що поглинають

ультрафіолет, у поверхневих тканинах квіток обумовлює збільшення фотопротекторної здатності як адаптивне підсилення репродуктивної системи інвазійного виду-геліофіту.

Флавоноїди як біологічно активний компонент ідентифіковані завдяки хелатувальним властивостям шляхом хемосорбції із рослинного екстракту на біосумісному оксиді алюмінію та наступного визначення спектральних характеристик продукту взаємодії.

Результати можуть бути застосовані для ідентифікації сировини злинки канадської та при використанні ресурсного потенціалу цих рослин для отримання біологічно активних препаратів.

Конфлікт інтересів

Автор повідомляє про відсутність конфлікту інтересів. Крім того, автор повністю дотримувався етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Dai Z. C., Wan L. Y., Qi S. S., Rutherford S., Ren G. Q., Wan J. S., Du D. L. Synergy among hypotheses in the invasion process of alien plants: a road map within a timeline. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 2020. Vol. 47. 125575. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ppees.2020.125575
2. Lorenzo P., Morais M. C. Strategies for the management of aggressive invasive plant species. *Plants.* 2023. Vol. 12. N 13. 2482. DOI: https://doi.org/10.3390/plants12132482
3. Kowarik I. Historical evidence for context-dependent assessment of *Erigeron canadensis* invasions in an 18th-century European landscape. *NeoBiota*. 2023. Vol. 89. P. 1-15. DOI: https://doi.org/10.3897/neobiota.89.111268
4. Huang Z., Lin M., Chen G. Common agricultural weeds among alien invasive plants in China: Species lists and their practical managing strategies. *Heliyon*. 2025. Vol. 11. N 2. e41772. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41772
5. Bajwa A. A., Sadia S., Ali H. H., Jabran K., Peerzada A. M., Chauhan B. S. Biology and management of two important *Conyza* weeds: a global review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 23. P. 24694-24710. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-016-7794-7
6. Kalusová V., Čeplová N., Danihelka J., Večeřa M., Pyšek P., Albert A., Anastasiu P., Biurrun I., Boch S., Cottaz C., Essl F., Kuzemko A., Maslo S., Mifsud S., Protopopova V. V., Shevera M., Sîrbu C., Svenning J.-C., Welk E., Axmanová I. Alien plants of Europe: an overview of national and regional inventories. *Preslia*. 2024. Vol. 96. N 2. P. 149-182. DOI: https://doi.org/10.23855/preslia.2024.149
7. Li D., Potgieter L. J., Aronson M. F., Axmanová I., Baiser B., Carboni M., Celesti-Grapow L., Knapp S., Kühn I., Lacerda de Matos A. C., Lososová Z., Montaño-Centellas F. A., Pyšek P., Richardson D. M., Trotta L. B., Zenni R. D., Cilliers S. S., Clarkson B. D., Davis A. J. S. Dolan R. W., Dyderski M. K., Essl F., Gaoue O. G., Gui J., Géron C., Heringer G., Hui C., Khuroo A. A., Klotz S., Kotanen P. M., Kreft H., La Sorte F. A., Lembrechts J. J., Lenzner B., Lepczyk C. A., MacIvor S., Martínez-Garza C., Mori A. S., Nilon C., Pergl J., Siebert S. J., Tretyakova A. S., Tsang T. P. N., Uchida K., van Kleunen M., Vilà M., Wang H.-F., Weigelt P., Werner P., Williams N. S. G., Winter M., Cadotte M. W. GUBIC: The global urban biological invasions compendium for plants. *Ecological Solutions and Evidence*. 2025. Vol. 6. N 1. e70020. DOI: https://doi.org/10.1002/2688-8319.70020
8. Dubyna D. V., Dziuba T. P., Iemelianova S. M., Protopopova V. V. Shevera M. V. Alien species in the pioneer and ruderal vegetation of Ukraine. *Diversity*. 2022. Vol. 14. N 12. 1085. DOI: https://doi.org/10.3390/d14121085
9. Dubyna D. V., Iemelianova S. M., Dziuba T. P., Tymoshenko P. A., Protopopova V. V., Shevera M. V. Alien plant invasion in the ruderal vegetation of Ukraine. *Environmental & Socio-economic Studies*. 2021. Vol. 9. N 4. P. 57-70. DOI: https://doi.org/10.2478/environ-2021-0025
10. Клименко Т. К., Ісмагілова А. Є. Участь інвазійних видів рослин у формуванні рослинних угруповань у процесі відновлювальних сукцесій. *Екологічні науки*. 2021. № 6(39). С. 187-191. DOI: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.32
11. Тарасевич О. В., Орлов О. О. Трав'яні адвентивні види рослин–загроза для лісовідновлення та лісових екосистем у Житомирському Поліссі. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23(16). С. 81-92. DOI: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_16/81_Tar.pdf
12. Хоменко С. В., Бельмега І. В., Кірейцева Г. В., Хрутьба В. О. Роль фітоінвазії для природного біорізноманіття заповідних територій України. *Екологічні науки*. 2024. № 1(52). Т. 2. С. 94-99. DOI: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.2.18
13. Коткова Т. М., Котюк Л. А., Яременко О. В., Стоцька С. В. Дослідження стану угруповань флори за впливу промислової розробки Сокирницького родовища цеолітів Хустського району Закарпатської області. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 11. С. 280-293. DOI: https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.30

14. Зав'ялова Л. В., Протопопова В. В., Панченко С. М., Смаголь В. О., Коломійчук В. П., Кучер О. О., Шевера М. В. Синантропізація рослинного покриву України внаслідок воєнних дій. *Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій—2022*. Дніпро: Середняк Т. К., 2022. С. 31-52. DOI: https://doi.org/10.23939/monograph2022
15. Коломійчук В. П., Зимароєва А. А. Особливості відновлення рослинності на військових фортифікаційних спорудах у Чорнобильському радіаційно-екологічному біосферному заповіднику. *Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова»*. 2024. № 26. С. 142-150. DOI: https://doi.org/10.53904/1682-2374/2024-26/10
16. Олійник П.О. Моніторинг стану новоутворених біотопів та складу грунтів дна Каховського водосховища *Екологічні науки*. 2024. № 6(57). С. 142-148. DOI: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.21
17. Gioria M., Hulme P. E., Richardson D. M., Pyšek P. Why are invasive plants successful? *Annual Review of Plant Biology*. 2023. Vol. 74. P. 635-670. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-070522-071021
18. Szigeti V., Fenesi A., Botta-Dukát Z., Kuhlmann M., Potts S. G., Roberts S., Soltész Z., Török E., Kovács-Hostyánszki A. Trait-based effects of plant invasion on floral resources, hoverflies and bees. *Insect Conservation and Diversity*. 2023. Vol. 16. N 4. P. 483-496. DOI: https://doi.org/10.1111/icad.12640
19. Tichý L., Axmanová I., Dengler J., Guarino R., Jansen F., Midolo G., ets. Ellenberg-type indicator values for European vascular plant species. *Journal of Vegetation Science*. 2023. Vol. 34. N 1. e13168. DOI: https://doi.org/10.1111/jvs.13168
20. Bartelheimer M., Poschlod P. Functional characterizations of Ellenberg indicator values–a review on ecophysiological determinants. *Functional Ecology*. 2016. Vol. 30. N 4. P. 506-516. DOI: https://doi.org/10.1111/1365-2435.12531
21. Humbal A., Pathak B. Influence of exogenous elicitors on the production of secondary metabolite in plants: A review ("VSI: secondary metabolites"). *Plant Stress.* 2023. Vol. 8. 100166. DOI: https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100166
22. Ferreyra M. L. F., Serra P., Casati P. Recent advances on the roles of flavonoids as plant protective molecules after UV and high light exposure. *Physiol. Plant.* 2021. Vol. 173. N 3. P. 736-749. DOI: https://doi.org/10.1111/ppl.13543
23. Феденко В. С. Відбивальні характеристики квіток як критерій інвазивності *Erigeron annuus* (L.) Pers. *Екологія та ноосферологія.* 2024. Т. 35. № 1. С. 52-57. DOI: https://doi.org/10.15421/032409
24. Pei L., Song Y., Chen G., Mu L., Yan B., Zhou T. Enhancement of methane production from anaerobic digestion of *Erigeron canadensis* via O_2-nanobubble water supplementation. *Chemosphere*. 2024. Vol. 354. 141732. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141732
25. Laptiev V., Giltrap M., Tian F., Ryzhenko N. Assessment of heavy metals (Cr, Cu, Pb, and Zn) bioaccumulation and translocation by *Erigeron canadensis* L. in polluted soil. *Pollutants*. 2024. Vol. 4. N 3. P. 434-451. DOI: https://doi.org/10.3390/pollutants4030029
26. Gan C., Liu Z., Pang B., Zuo D., Hou Y., Zhou L., Yu J., Chen L., Wang H., Gu L., Du X., Zhu B., Yi Y. Integrative physiological and transcriptome analyses provide insights into the cadmium (Cd) tolerance of a Cd accumulator: *Erigeron canadensis*. *BMC genomics*. 2022. Vol. 23. N 1. 778. DOI: https://doi.org/10.1186/s12864-022-09022-5
27. Aytar E. C., Basılı T., Durmaz A., Aydın B., Seyfeli R. C., Kahyaoğlu İ. M., Karakuş S. Zero-waste production of copper nanoparticles and activated carbon from *Erigeron canadensis* L.: A sustainable approach for environmental and health applications. *ChemistrySelect.* 2025. Vol. 10. N 7. e202405073. DOI: https://doi.org/10.1002/slct.202405073
28. Руденко В.П., Сербін А.Г. Злинка. Фармацевтична енциклопедія / Голова ред. ради та автор передмови В. П. Черних. – 3-тє вид., переробл. і доповн. – К.: МОРІОН", 2016. С. 666 – 667. URL: https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/1601/zlinka
29. Barhoumi L. M., Shakya A. K., Al-Fawares O. L., Al-Jaber H. I. *Conyza canadensis* from Jordan: Phytochemical profiling, antioxidant, and antimicrobial activity evaluation. *Molecules*. 2024. Vol. 29. N 10. 2403. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules29102403
30. Šutovská M., Kocmálová M., Mažerik J., Pawlaczyk-Graja I., Gancarz R., Capek P. Chemical characteristics and significant antitussive effect of the *Erigeron canadensis* polyphenolic polysaccharide-protein complex. *Journal of Ethnopharmacology*. 2022. Vol. 284. 114754. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114754
31. Paulovičová E., Paulovičová L., Pawlaczyk-Graja I., Gancarz R., Kopáčová M., Capek P. Effectivity of polyphenolic polysaccharide-proteins isolated from medicinal plants as potential cellular immune response modulators. *Biologia*. 2022. Vol. 77. N 12. P. 3581-3593. https://doi.org/10.1007/s11756-022-01200-w
32. Глущенко Л., Куценко Н. Проблеми ідентифікації лікарських рослин та лікарської рослинної сировини. *Journal of Native and Alien Plant Studies*. 2023. N 19. P. 38–51. DOI: https://doi.org/10.37555/2707-3114.19.2023.296366
33. Феденко В. С. Хемосорбція флавоноїдів золотушника канадського на оксиді алюмінію. *Journal of Chemistry and Technologies.* 2022. Vol. 30. N. 3. P. 340-348. DOI: https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i3.262972

34. Poljuha D., Sladonja B., Šola I., Šenica M., Uzelac M., Veberič R., Hudina M., Famuyide I. M., Eloff J. N., Mikulic-Petkovsek M. LC–DAD–MS phenolic characterisation of six invasive plant species in Croatia and determination of their antimicrobial and cytotoxic activity. *Plants*. 2022. Vol. 11. N 5. 596. DOI: https://doi.org/10.3390/plants11050596
35. Karg C. A., Taniguchi M., Lindsey J. S., Moser S. Phyllobilins–Bioactive natural products derived from chlorophyll–Plant origins, structures, absorption spectra, and biomedical properties. *Planta Medica*. 2023. Vol. 89. N 06. P. 637-662. DOI: https://doi.org/10.1055/a-1955-4624
36. Taniguchi M., LaRocca C. A., Bernat J. D., Lindsey J. S. Digital database of absorption spectra of diverse flavonoids enables structural comparisons and quantitative evaluations. *Journal of Natural Products*. 2023. Vol. 86. N 4. P. 1087-1119. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.2c00720
37. Ohta N., Robertson A. *Colorimetry: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons., 2006. 352 p. URL: https://www.academia.edu/34154313/Colorimetry_Fundamentals_and_Applications
38. Cairone F., Carradori S., Locatelli M., Casadei M. A., Cesa S. Reflectance colorimetry: A mirror for food quality—A mini review. *European Food Research and Technology*. 2020. Vol. 246. N 2. P. 259-272. DOI: https://doi.org/10.1007/s00217-019-03345-6
39. Феденко В. Світлопоглинальна здатність квіток інвазійного виду *Ambrosia artemisiifolia* L. Biota.Human. Technology. 2025. №1. С. 28-38. DOI: https://doi.org/10.58407/bht.1.25.2
40. Paz-Kagan T., Silver M., Panov N., Karnieli A. Multispectral approach for identifying invasive plant species based on flowering phenology characteristics. *Remote Sensing*. 2019. Vol.11. N 8. 953. DOI: https://doi.org/10.3390/rs11080953
41. Barrett S. C., Colautti R. I., Eckert C. G. Plant reproductive systems and evolution during biological invasion. *Molecular Ecology*. 2008. Vol. 17. N 1. P. 373-383. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03503.x
42. Landi M., Shemet S. A., Fedenko V. S. (Eds.). *Metal toxicity in higher plants*. N. Y.: Nova Science Publishers, 2020. 268 p. URL: https://novapublishers.com/shop/metal-toxicity-in-higher-plants/
43. Khan S. A., Hanafy A. A. E., Khan A., Anwar Y., Shah Z., Maher S. Phytochemical investigation of *Conyza canadensis* (L.). *Middle-East Journal of Scientific Research*. 2016. Vol. 24. N 4. P. 1104-1111. DOI: https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2016.24.04.10369
44. Barhoumi L. M., Shakya A. K., Al-Fawares O. L., Al-Jaber H. I. *Conyza canadensis* from Jordan: phytochemical profiling, antioxidant, and antimicrobial activity evaluation. *Molecules*, 2024. Vol. 29. N 10. P. 2403. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules29102403
45. Colombo M., Michels L. R., Teixeira H. F., Koester L. S. Flavonoid delivery by solid dispersion: a systematic review. *Phytochemistry Reviews*. 2022. Vol. 21. P. 783–808. DOI: https://doi.org/10.1007/s11101-021-09763-3

Стаття надійшла до редакції 21.04.2025
Стаття рекомендована до друку 28.05.2025

V. S. FEDENKO, PhD (Chemistry), Senior scientific researcher,
Senior scientific researcher of the Research Institute of Biology
e-mail: opticlab.fedenko@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4696-6981
Oles Honchar Dnipro National University
Nauky Avenue, 72, Dnipro, 49045, Ukraine

FLOWERS SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE INVASIVE HELIOPHYTE SPECIES *ERIGERON CANADENSIS L.*

Purpose. Determination of spectral characteristics of *Erigeron canadensis* L. flowers to confirm the photoprotective effect of flavonoids and identify the raw material.

Methods. The reflectance spectra were obtained in the range of 350–800 nm. The colorimetric parameters were determined in the CIE XYZ and CIE L*a*b* systems. For additional identification of flavonoids, the flowers were extracted with isopropanol and chemisorption of compounds from the extract on the surface of biocompatible aluminum oxide was carried out, followed by determination of spectral characteristics.

Results. The selection of flowers was carried out at the flowering stage in an open meadow area near the Mokra Sura River (Novooleksandrivka, Dnipropetrovsk region), taking into account that the

best development of heliophytes is observed under conditions of full illumination. For the first time, the reflectance and colorimetric characteristics of flowers were determined to determine the light-absorbing ability of horseweed as an invasive heliophyte species at the flowering stage. A defining feature of the reflectance spectra of flowers is the increase in the intensity of the maximum of UV-absorbing flavonoids compared to carotenoids and chlorophylls, which are localized in surface tissues. Differentiation of the spectral reflection curve of flowers turned out to be an effective way to increase the degree of distribution of the detected maxima. The studied flowers were also characterized by a specific set of colorimetric parameters. Flavonoids as a biologically active component were identified due to their chelating properties by chemisorption from a plant extract on biocompatible aluminum oxide and subsequent determination of the reflectance and colorimetric characteristics of the interaction product.

Conclusions. Increased localization of ultraviolet-absorbing flavonoids in the surface tissues of flowers determines the increase in photoprotective ability as an adaptive enhancement of the reproductive system of the invasive heliophyte species. The results can be used to confirm the functional signs of invasiveness of alien plants, as well as to identify the raw material of horseweed and when using the resource potential of this species to obtain biologically active drugs.

KEYWORDS: *horseweed, UV-absorbing flavonoids, photoprotective effect, reflectance characteristics, colorimetric characteristics*

References

1. Dai, Z. C., Wan, L. Y., Qi, S. S., Rutherford, S., Ren, G. Q., Wan, J. S., & Du, D. L. (2020). Synergy among hypotheses in the invasion process of alien plants: a road map within a timeline. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, *47*, 125575. https://doi.org/10.1016/j.ppees.2020.125575
2. Lorenzo, P., & Morais, M. C. (2023). Strategies for the management of aggressive invasive plant species. *Plants, 12*(13), 2482. https://doi.org/10.3390/plants12132482
3. Kowarik, I. (2023). Historical evidence for context-dependent assessment of *Erigeron canadensis* invasions in an 18th-century European landscape. *NeoBiota*, *89*, 1-15. https://doi.org/10.3897/neobiota.89.111268
4. Huang, Z., Lin, M., & Chen, G. (2025). Common agricultural weeds among alien invasive plants in China: Species lists and their practical managing strategies. *Heliyon*, *11*(2), e41772. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41772
5. Bajwa, A. A., Sadia, S., Ali, H. H., Jabran, K., Peerzada, A. M., & Chauhan, B. S. (2016). Biology and management of two important *Conyza* weeds: a global review. *Environmental Science and Pollution Research*, *23*, 24694-24710. https://doi.org/10.1007/s11356-016-7794-7
6. Kalusová, V., Čeplová, N., Danihelka, J., Večeřa, M., Pyšek, P., Albert, A., Anastasiu, P., Biurrun, I., Boch, S., Cottaz, C., Essl, F., Kuzemko, A., Maslo, S., Mifsud, S., Protopopova, V. V., Shevera, M., Sîrbu, C., Svenning, J.-C., Welk, E., & Axmanová, I. (2024). Alien plants of Europe: an overview of national and regional inventories. *Preslia*, *96*(2), 149-182. https://doi.org/10.23855/preslia.2024.149
7. Li, D., Potgieter, L. J., Aronson, M. F., Axmanová, I., Baiser, B., Carboni, M., Celesti-Grapow, L., Knapp, S., Kühn, I., Lacerda de Matos, A. C., Lososová, Z., Montaño-Centellas, F. A., Pyšek, P., Richardson, D. M., Trotta, L. B., Zenni, R. D., Cilliers, S. S., Clarkson, B. D., Davis, A. J. S., Dolan, R. W., Dyderski, M. K., Essl, F., Gaoue, O. G., Gui, J., Géron, C., Heringer, G., Hui, C., Khuroo, A. A., Klotz, S., Kotanen, P. M., Kreft, H., La Sorte, F. A., Lembrechts, J. J., Lenzner, B., Lepczyk, C. A., MacIvor, S., Martínez-Garza, C., Mori, A. S., Nilon, C., Pergl, J., Siebert, S. J., Tretyakova, A. S., Tsang, T. P. N., Uchida, K., van Kleunen, M., Vilà, M., Wang, H.-F., Weigelt, P., Werner, P., Williams, N. S. G., Winter, M. & Cadotte, M. W. (2025). GUBIC: The global urban biological invasions compendium for plants. *Ecological Solutions and Evidence*, *6*(1), e70020. https://doi.org/10.1002/2688-8319.70020
8. Dubyna, D. V., Dziuba, T. P., Iemelianova, S. M., Protopopova, V. V., & Shevera, M. V. (2022). Alien species in the pioneer and ruderal vegetation of Ukraine. *Diversity*, *14*(12), 1085. https://doi.org/10.3390/d14121085
9. Dubyna, D. V., Iemelianova, S. M., Dziuba, T. P., Tymoshenko, P. A., Protopopova, V. V., & Shevera, M. V. (2021). Alien plant invasion in the ruderal vegetation of Ukraine. *Environmental & Socio-economic Studies*, *9*(4), 57-70. https://doi.org/10.2478/environ-2021-0025
10. Klymenko, T., & Ismagilova, A. (2021). Participation of invasive plant species in the formation of plant communities during regenerative successions. *Ecological Sciences*, (6), 39, 187-191. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.32 (in Ukrainian)
11. Tarasevich, O. V., & Orlov, O. O. (2013). Herbaceous alien plant species – threat for forest reneview and forest ecosystems in Zhytomyr Polissya. *Scientific bulletin of UNFU*, *23*(16), 81-92. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_16/81_Tar.pdf (in Ukrainian)
12. Khomenko, S., Belmega, I., Kireitseva, H., & Khrutba, V. (2024). The role of phytoinvasion for the natural biodiversity of protected areas in Ukraine. *Ecological Sciences*, *1*(2), 94-99. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.2.18 (in Ukrainian)

13. Kotkova, T. M., Kotyuk, L. A., Yaremenko, O. V., & Stotska, S. V. (2025). Study of flora communities under the impact of industrial mining at the Sokyrnytsia zeolite deposit in the Khust district of the Zakarpattia region. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*, (11), 280-293. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.30 (in Ukrainian)
14. Zavialova, L. V., Protopopova, V. V., Panchenko, S. M., Smagol, V. O., Kolomiichuk, V. P., Kucher, O. O., & Shevera, M. V. (2022). The synantropization of vegetation cover of Ukraine as impact of military actions. In: *Overcoming ecological risks and threats to the environment in emergency situations–2022*. Serednyak T.K. Dnipro, 31-52. https://doi.org/10.23939/monograph2022 (in Ukrainian)
15. Kolomiichuk, V. P., & Zymaroieva, A. A. (2024). Features of vegetation restoration on military fortifications in the Chornobyl radiation and ecological biosphere reserve. *Biosphere Reserve "Askania Nova" Reports*, (26), 142-150. https://doi.org/10.53904/1682-2374/2024-26/10 (in Ukrainian)
16. Oliynyk, P. (2024). Monitoring of the state of newly established biotopes and the composition of soils at the bottom of the Kakhovka reservoir. *Ecological Sciences*, (6), 142-148. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.21 (in Ukrainian)
17. Gioria, M., Hulme, P. E., Richardson, D. M., & Pyšek, P. (2023). Why are invasive plants successful? *Annual Review of Plant Biology*, *74*, 635-670. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-070522-071021
18. Szigeti, V., Fenesi, A., Botta-Dukát, Z., Kuhlmann, M., Potts, S. G., Roberts, S., Soltész, Z., Török, E., & Kovács-Hostyánszki, A. (2023). Trait-based effects of plant invasion on floral resources, hoverflies and bees. *Insect Conservation and Diversity*, *16*(4), 483-496. https://doi.org/10.1111/icad.12640
19. Tichý, L., Axmanová, I., Dengler, J., Guarino, R., Jansen, F., Midolo, G.,…& Chytrý, M. (2023). Ellenberg-type indicator values for European vascular plant species. *Journal of Vegetation Science*, *34*(1), e13168. https://doi.org/10.1111/jvs.13168
20. Bartelheimer, M., & Poschlod, P. (2016). Functional characterizations of Ellenberg indicator values–a review on ecophysiological determinants. *Functional Ecology*, *30*(4), 506-516. https://doi.org/10.1111/1365-2435.12531
21. Humbal, A., & Pathak, B. (2023). Influence of exogenous elicitors on the production of secondary metabolite in plants: A review ("VSI: secondary metabolites"). *Plant Stress*, *8*, 100166. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100166
22. Ferreyra, M. L. F., Serra, P., & Casati, P. (2021). Recent advances on the roles of flavonoids as plant protective molecules after UV and high light exposure. *Physiol. Plant.*, *173*(3), 736-749. https://doi.org/10.1111/ppl.13543
23. Fedenko, V. S. (2024). Reflectance characteristics of flowers as a criterion for invasiveness of *Erigeron annuus* (L.) Pers. *Ecology and Noospherology*, *35*(1), 52-57. https://doi.org/10.15421/032409 (in Ukrainian)
24. Pei, L., Song, Y., Chen, G., Mu, L., Yan, B., & Zhou, T. (2024). Enhancement of methane production from anaerobic digestion of *Erigeron canadensis* via O_2-nanobubble water supplementation. *Chemosphere*, *354*, 141732. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141732
25. Laptiev, V., Giltrap, M., Tian, F., & Ryzhenko, N. (2024). Assessment of heavy metals (Cr, Cu, Pb, and Zn) bioaccumulation and translocation by *Erigeron canadensis* L. in polluted soil. *Pollutants*, *4*(3), 434-451. https://doi.org/10.3390/pollutants4030029
26. Gan, C., Liu, Z., Pang, B., Zuo, D., Hou, Y., Zhou, L., Yu, J., Chen, L., Wang, H., Gu, L., Du, X., Zhu, B., & Yi, Y. (2022). Integrative physiological and transcriptome analyses provide insights into the cadmium (Cd) tolerance of a Cd accumulator: *Erigeron canadensis*. *BMC genomics*, *23*(1), 778. https://doi.org/10.1186/s12864-022-09022-5
27. Aytar, E. C., Basılı, T., Durmaz, A., Aydın, B., Seyfeli, R. C., Kahyaoğlu, İ. M., & Karakuş, S. (2025). Zero-waste production of copper nanoparticles and activated carbon from *Erigeron canadensis* L.: A sustainable approach for environmental and health applications. *ChemistrySelect*, *10*(7), e202405073. https://doi.org/10.1002/slct.202405073
28. Rudenko, V. P., & Serbin, A. G. (2016). [Fleabane In Pharmaceutical encyclopedia (3th ed.)]. MORION. Kyiv, 666–667. Retrieved from https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/1601/zlinka (in Ukrainian)
29. Barhoumi, L. M., Shakya, A. K., Al-Fawares, O. L., & Al-Jaber, H. I. (2024). *Conyza canadensis* from Jordan: Phytochemical profiling, antioxidant, and antimicrobial activity evaluation. *Molecules*, *29*(10), 2403. https://doi.org/10.3390/molecules29102403
30. Šutovská, M., Kocmálová, M., Mažerik, J., Pawlaczyk-Graja, I., Gancarz, R., & Capek, P. (2022). Chemical characteristics and significant antitussive effect of the *Erigeron canadensis* polyphenolic polysaccharide-protein complex. *Journal of Ethnopharmacology*, *284*, 114754. https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114754
31. Paulovičová, E., Paulovičová, L., Pawlaczyk-Graja, I., Gancarz, R., Kopáčová, M., & Capek, P. (2022). Effectivity of polyphenolic polysaccharide-proteins isolated from medicinal plants as potential cellular immune response modulators. *Biologia*, *77*(12), 3581-3593. https://doi.org/10.1007/s11756-022-01200-w
32. Hlushchenko, L. A., Kutsenko, N. I. (2023). Problems with identification of medicinal plants and medicinal plant raw materials. *J. Native Alien Plant Stud.*, *19*, 38–52. https://doi.org/10.37555/2707-3114.19.2023.293647 (in Ukrainian)

33. Fedenko, V. S. (2022). Chemisorption of flavonoids from canadian goldenrod on aluminum oxide. *Journal of Chemistry and Technologies*, *30*(3), 340-348. https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i3.262972 (in Ukrainian)
34. Poljuha, D., Sladonja, B., Šola, I., Šenica, M., Uzelac, M., Veberič, R., Hudina, M., Famuyide, I. M., Eloff, J.N., & Mikulic-Petkovsek, M. (2022). LC–DAD–MS phenolic characterisation of six invasive plant species in Croatia and determination of their antimicrobial and cytotoxic activity. *Plants*, *11*(5), 596. https://doi.org/10.3390/plants11050596
35. Karg, C. A., Taniguchi, M., Lindsey, J. S., & Moser, S. (2023). Phyllobilins–bioactive natural products derived from chlorophyll–Plant origins, structures, absorption spectra, and biomedical properties. *Planta Medica*, *89*(06), 637-662. https://doi.org/10.1055/a-1955-4624
36. Taniguchi, M., LaRocca, C. A., Bernat, J. D., & Lindsey, J. S. (2023). Digital database of absorption spectra of diverse flavonoids enables structural comparisons and quantitative evaluations. *Journal of Natural Products*, 86(4), 1087-1119. https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.2c00720
37. Ohta, N., & Robertson, A. (2006). *Colorimetry: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons, 352 p. Retrieved from https://www.academia.edu/34154313/Colorimetry_Fundamentals_and_Applications
38. Cairone, F., Carradori, S., Locatelli, M., Casadei, M. A., & Cesa, S. (2020). Reflectance colorimetry: A mirror for food quality—A mini review. *European Food Research and Technology*, *246*(2), 259-272. https://doi.org/10.1007/s00217-019-03345-6
39. Fedenko, V. (2025). Light absorption capacity of flowers of the invasive species *Ambrosia artemisiifolia* L. *Biota. Human. Technology*, (1), 28-38. https://doi.org/10.58407/bht.1.25.2 (in Ukrainian)
40. Paz-Kagan, T., Silver, M., Panov, N., & Karnieli, A. (2019). Multispectral approach for identifying invasive plant species based on flowering phenology characteristics. *Remote Sensing*, *11*(8), 953. https://doi.org/10.3390/rs11080953
41. Barrett, S. C., Colautti, R. I., & Eckert, C. G. (2008). Plant reproductive systems and evolution during biological invasion. *Molecular Ecology*, *17*(1), 373-383. https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03503.x
42. Landi, M., Shemet, S. A., & Fedenko, V. S. (Eds.). (2020). *Metal toxicity in higher plants*. Nova Science Publishers. Retrieved from https://novapublishers.com/shop/metal-toxicity-in-higher-plants/
43. Khan, S. A., Hanafy, A. A. E., Khan, A., Anwar, Y., Shah, Z., & Maher, S. (2016). Phytochemical investigation of *Conyza canadensis* (L.). *Middle-East Journal of Scientific Research*, *24*(4), 1104-1111. https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2016.24.04.10369
44. Barhoumi, L. M., Shakya, A. K., Al-Fawares, O. L., & Al-Jaber, H. I. (2024). Conyza canadensis from Jordan: Phytochemical Profiling, Antioxidant, and Antimicrobial Activity Evaluation. *Molecules*, *29*(10), 2403. https://doi.org/10.3390/molecules29102403
45. Colombo, M., Michels, L. R., Teixeira, H. F., & Koester, L. S. (2022). Flavonoid delivery by solid dispersion: a systematic review. *Phytochemistry Reviews*, *21*, 783–808. https://doi.org/10.1007/s11101-021-09763-3

The article was received by the editors 21.04.2025
The article is recommended for printing 28.05.2025