




<https://doi.org/10.15407/ukrbotj83.02.129>

RESEARCH ARTICLE

Антоціанова пігментація тканин вегетативних органів *Lamium purpureum* (Lamiaceae)

Володимир С. ФЕДЕНКО 

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
проспект Науки 72, Дніпро 49045, Україна

Адреса для листування: opticlub.fedenko@gmail.com

Реферат. Уперше досліджено пігментний склад тканин вегетативних органів *Lamium purpureum* із використанням комплексу спектральних методичних підходів (неруйнівна твердофазна спектрофотометрія, спектроскопія поглинання екстрактів, ідентифікація хелатувальної здатності пігментів). Встановлено, що специфічність пігментації найнижчих приквіткових листків, найвищих стеблових листків під основою суцвіття та частини стебла між ними пов'язана із локалізацією у поверхневих тканинах флавоноїдів, антоціанів, каротиноїдів та хлорофілів у різних співвідношеннях. Пурпурове забарвлення тканин обумовлено накопиченням антоціанів, які ідентифіковані за характерним максимумом у спектрах відбиття тканин і спектрах поглинання екстрактів, колориметричними параметрами, хелатувальною здатністю. Визначено параметри диференційних спектрів відбиття як маркерні ознаки специфічної локалізації антоціанів у різних тканинах рослин. Максимальне накопичення антоціанів відзначено у поверхневих тканинах приквіткових листків. Контраст у сприйнятті забарвлення встановлено шляхом розрахунку колірної відмінності між тканинами. Запропонований методичний підхід може бути використано для ідентифікації сировини *L. purpureum* при отриманні біологічно активних препаратів та неруйнівної діагностики пігментного складу рослин.

Ключові слова: *Lamium purpureum*, антоціани, відбивальні характеристики, захисний ефект, колориметрія

Вступ

Серед специфічних ознак рослин привертає увагу феномен пурпурової пігментації вегетативних органів у деяких видів (Davies et al., 2022). Одним із таких представників є *Lamium purpureum* L. (глуха кропива пурпурова, родина Lamiaceae) — поширений вид рослин у флорі України — ймовірний археофіт північносередземноморського

походження, епекофіт за ступенем натуралізації (Protopopova, 1991; Dubyna et al., 2022; Baranovski et al., 2023). Специфічна особливість рослин цього виду особливо проявляється в пурпуровому забарвленні листків і стебла на початкових стадіях росту та під час цвітіння (Mashtaler et al., 2024). Слід зазначити, що вже перші сходи рослин навесні мають пурпурове забарвлення, згодом з'являються перші квітки на фоні

ARTICLE HISTORY. Submitted 16 July 2025. Revised 13 March 2026. Published 30 April 2026

CITATION. Fedenko V.S. 2026. Anthocyanin pigmentation of tissues of vegetative organs of *Lamium purpureum* (Lamiaceae). *Ukrainian Botanical Journal*, 83(2): 129–141. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj83.02.129>

© M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, 2026

© Publisher PH "Akadempriodyka" of the NAS of Ukraine, 2026

This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

пурпурових приквіткових листків, а з часом при підвищенні температури середовища ці листки стають зеленими. Для *L. purpureum* характерний ранній та тривалий період цвітіння (з квітня по жовтень) (Blinkova, 2018). Така особливість призводить до раннього завершення життєвого циклу: від проростання насіння до плодоношення минає лише кілька тижнів. Продукування відносно великої кількості насіння, яке зберігає життєздатність у зимовий період у ґрунті, розглядають як один з факторів інтенсивного поширення цього виду поза межами його природного ареалу (DeFelice, 2005). Саме навесні для *L. purpureum* встановлено помітне значення проективного покриття виду, а також відносно високий показник трапляння та фітоценотичної активності, наприклад, серед адвентивної фракції рослин паркової зони (Lisovets, Udzhmadzhuridze, 2022). Для рослин цього виду як сціогеліофіту характерна пластичність до світлового режиму (Barišić et al., 2006), а також стійкість до низьких температур (Creesh et al., 2007). Згідно з запропонованою фітоіндикаційною шкалою за типом Елленберга для *L. purpureum* встановлено високе значення показника світлового фактора 7,2 (Tichý et al., 2023). У разі антропогенної трансформації середовища спостерігалось формування процвітаючого типу популяції *L. purpureum* із максимальною варіабельністю морфометричних параметрів, у тому числі кількості квіток і листків у особини (Blinkova, 2018). Стійкість до екстремальних і несприятливих умов середовища обумовила наявність цього виду у складі адвентивної фракції регіональних флор України (Blinkova, 2018; Pavlyshak, Dankiv, 2022; Varanovski et al., 2023) та присутність у різних синтаксонах піонерної та рудеральної рослинності (Dubyna et al., 2022).

Як відомо, пурпурове забарвлення листків переважно обумовлене локалізацією антоціанових пігментів у поверхневих тканинах (Davies et al., 2022). Разом із тим, незважаючи на таку виразну ознаку, пігментний склад тканин вегетативних органів *L. purpureum* дотепер не було з'ясовано. Для дослідження цього явища, на нашу думку, найбільш адекватним є застосування комплексу спектральних методів, який включає неруйнівну твердофазну спектроскопію, спектроскопію поглинання пігментних екстрактів та ідентифікацію хелатувальної здатності антоціанів (Fedenko, 2022). Інформативна значущість методичних

підходів твердофазної спектроскопії полягає у можливості моделювання процесу взаємодії сонячного випромінювання залежно від довжини хвилі зі світлопоглинальними сполуками, які локалізовані у поверхневих тканинах (спектроскопія відбиття), а також у встановленні спектральних параметрів, що визначають сприйняття кольору та колірні відмінності рослинних тканин (колориметрія) (Fedenko, 2008, 2022).

Мета роботи — порівняльний аналіз спектральних характеристик різних груп листків та стебла із пурпуровим забарвленням у період цвітіння на початкових етапах вегетативного розвитку *L. purpureum*.

Матеріали та методи

Рослинний матеріал

За об'єкт дослідження обрано *Lamium purpureum*. Для аналізу відбирали найнижчі приквіткові листки (далі — приквіткові листки), найвищі стеблові листки під основою суцвіття (далі — стеблові листки) та частину стебла між ними. Відбір матеріалу проводили на стадії цвітіння у квітні 2024 р. на території луки біля річки Мокра Сура (с. Новоолександрівка, Дніпровський р-н, Дніпропетровська обл.).

Визначення вмісту антоціанів

Виділення екстракту із тканин вегетативних органів проводили із використанням суміші ізопропанол та 1%-ва HCl (за об'ємом) упродовж 24 год за температури 4 °C (Fedenko, 2022). Вміст антоціанів визначали спектроскопічним методом (Fourati et al., 2017). Оптичну густину антоціанів ($A_{\text{ант}}$) в екстрактах розраховували за формулою:

$$A_{\text{ант}} = A_{530} - (0,24 A_{653}) \quad (1),$$

де A_{530} та A_{653} — оптична густина, яка визначена при 530 нм та 653 нм, відповідно.

Загальний вміст антоціанів визначали як еквівалент ціанідин 3-глюкозиду (мг) на г сирої маси, використовуючи коефіцієнт екстинкції $26900 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ та молярну масу $449,2 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$.

Сорбційна взаємодія екстрактів з оксидом алюмінію

Сорбцію сполук з екстрактів на поверхні оксиду алюмінію (нейтральний, II ступінь активності

за Брокманом) проводили за однакового співвідношення об'єму рослинного екстракту (мл) і наважки сорбенту (г) (5 : 1) упродовж 15 хв при постійному перемішуванні. Після фільтрування адсорбат промивали ізопропанолом та висушували. Контроль за процесом сорбції здійснювали за величиною оптичної густини максимуму при 540 нм у спектрах поглинання екстракту до і після обробки Al_2O_3 . Спектри поглинання екстрактів вимірювали на спектрофотометрі DU-7HS. Для обчислення ступеня вилучення антоціанів із екстракту (X, %) використовували таке рівняння:

$$X = (A_0 - A_1) \cdot 100 / A_0 \quad (2),$$

де A_0 — оптична густина вихідного екстракту; A_1 — оптична густина екстракту після його обробки Al_2O_3 .

Вимірювання відбивальних характеристик

Спектральні характеристики листків вимірювали одразу після відбору рослинного матеріалу. Аналогічні умови вимірювання відбивальних і колориметричних параметрів тканин та адсорбатів забезпечувались шляхом використання стандартним тримачем твердих зразків до спектрофотометра за умов 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. Це дозволило проводити згладжування спектральних кривих із виключенням випадкових шумових піків (Fedenko, 2008). Корекцію 100%-ої лінії проводили за стандартом MgO, оптичної нульової точки — за стандартом чорного порожнистого тіла. Інтенсивність спектрів відбиття наводили в одиницях абсорбції.

Використовуючи коефіцієнти відбиття при 550 (R_{550}) і 700 нм (R_{700}), для порівняльної характеристики накопичення антоціанів у поверхневих тканинах розраховували показник mARI (anthocyanin reflectance index) за рівнянням (Syta et al., 2020) рівнянням:

$$mARI = [(R_{550})^{-1} - (R_{700})^{-1}] \times R_{780} \quad (3)$$

Диференційний спектр обчислювали за різницею абсорбції ΔA при відповідній довжині хвилі у спектрах відбиття приквіткових листків відносно стеблових листків та стебел.

Колориметричні вимірювання

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. Домінуювальну довжину хвилі λ_d та умовну чистоту кольорового тону P_e встановлювали графічним способом за координатами зразків у кольоровому просторі (Fedenko, 2008). У колориметричній системі CIE $L^*a^*b^*$ визначали інтегральний коефіцієнт яскравості L^* та колориметричні коефіцієнти a^* (співвідношення зеленої та червоної компонент кольору) і b^* (співвідношення синьої та жовтої компонент кольору). Ґрунтуючись на значеннях колориметричних коефіцієнтів, обчислювали повну колірну відмінність ΔE^* між тканинами або адсорбатами, а також розподіл цієї інтегральної величини на відмінності за яскравістю ΔL^* , кольоровістю ΔC^* та кольоровим тоном ΔH^* (Fedenko, 2022).

Статистична обробка результатів

При проведенні досліджень вибірка складала 10–15 рослин, в кожному варіанті досліду було не менше 3-х повторень. Результати наведені як середні величини зі стандартним відхиленням.

Значущість відмінностей оцінювали за t-критерієм Ст'юдента при $p \leq 0,05$, використовуючи пакет статистичного аналізу Statistica, версія 10.0. На рис. 2 наведені середні величини та їхні стандартні похибки.

Результати та обговорення

Для порівняльної характеристики тканин *Lamium purpureum* встановлено відбивальні та колориметричні характеристики, які пов'язані з селективним поглинанням пігментами за довжиною хвилі та розсіюванням світла структурами тканин (De Paola et al., 2026). Попри ефекти розсіювання світла, присутність характерних максимумів у спектрах відбиття дозволяє ідентифікувати пігменти в інтактних тканинах (De Paola et al., 2026). Світлопоглинальна здатність тканин *L. purpureum* характеризується наявністю декількох максимумів ($\lambda_{1T} - \lambda_{4T}$), обумовлених сполуками із різними хромофорними системами (рис. 1, табл. 1).

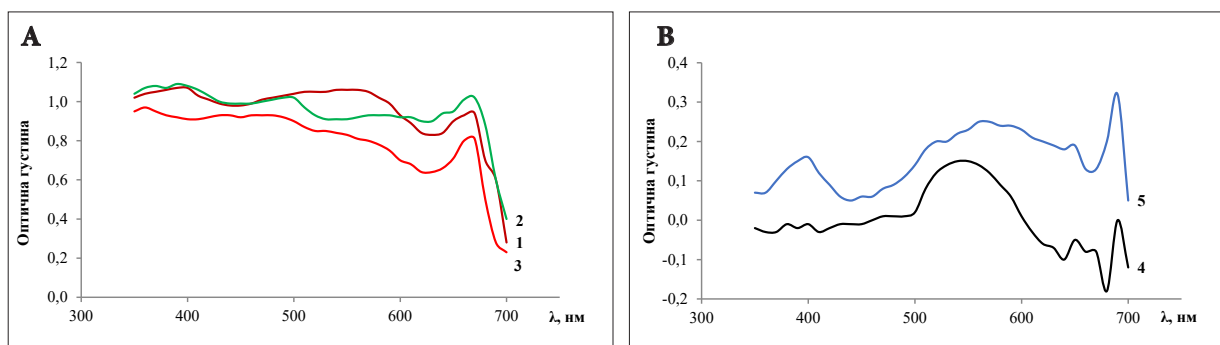


Рис. 1. Спектри відбиття (А) та диференційні спектри (В) тканин вегетативних органів *Lamium purpureum*: 1 — приквіткові листки; 2 — стеблові листки; 3 — стебла; 4 — приквіткові листки відносно стеблових; 5 — приквіткові листки відносно стебел

Fig. 1. Reflectance spectra (A) and differential spectra (B) of tissues of vegetative organs of *Lamium purpureum*: 1 — lowermost floral leaves; 2 — uppermost stem leaves below the verticillaster; 3 — stems; 4 — floral leaves relative to leaves below the verticillaster; 5 — floral leaves relative to stems

Таблиця 1. Відбивальні характеристики тканин вегетативних органів *Lamium purpureum*

Table 1. Reflectance characteristics of tissues of vegetative organs of *Lamium purpureum*

Показник	Приквіткові листки	Стеблові листки	Стебла
Положення максимуму			
λ_{1T} , нм	365, 397	365, 395	363, 395
λ_{2T} , нм	–	495	440, 485
λ_{3T} , нм	558	540	540
λ_{4T} , нм	677	677	677
Інтенсивність максимуму			
A_{1T}	1,04	1,07	0,96
A_{2T}	–	1,02	0,94
A_{3T}	1,04	0,90	0,85
A_{4T}	0,90	1,00	0,80
Співвідношення інтенсивностей максимумів			
A_{1T}/A_{4T}	1,16	1,07	1,20
A_{2T}/A_{4T}	–	1,02	1,17
A_{3T}/A_{4T}	1,16	0,90	1,06

Визначальною особливістю досліджених зразків є наявність у спектрах відбиття максимуму при 540–558 нм (λ_{3T}), який обумовлено локалізацією антоціанів у поверхневих тканинах (Nakashima, Yamakita, 2023). Інтенсивна смуга (λ_{1T}) із двома розділеними максимумами при 363–365 і 395–397 нм віднесена до УФ-поглинальних флавоноїдів (Falcioni et al., 2020; Koski et al., 2024). Максимумальні показники 440–495 нм (λ_{2T}), які пов'язані із каротиноїдами та смугою Core хлорофілів (Nakashima,

Yamakita, 2023), проявлялись у спектрах стеблових листків і стебел. Відсутність максимумів λ_{2T} для приквіткових листків може бути пояснена проявом широкої смуги антоціанів. Для усіх зразків характерна наявність довгохвильової Q-смуги хлорофілу *a* при 677 нм (λ_{4T}) (Nakashima, Yamakita, 2023). Оскільки інтенсивність аналітичних максимумів корелятивно пов'язана із вмістом пігментів у листках (Falcioni et al., 2020), для порівняльної характеристики тканин використано співвідношення оптичної густини максимумів A_{1T} – A_{3T} та оптичної густини довгохвильового максимуму A_{4T} хлорофілів (табл. 1). Для всіх тканин інтенсивність максимуму флавоноїдів перевищувала аналогічний показник для хлорофілів ($A_{1T}/A_{4T} > 1$). Максимальне значення співвідношення інтенсивностей максимумів антоціанів і хлорофілів A_{3T}/A_{4T} відзначено для приквіткових листків.

Відмінності у взаємодії випромінювання залежно від довжини хвилі у приквіткових листках, порівняно із стебловими листками та стеблами, підтверджено за використання диференційної спектрофотометрії (Dewez, Perreault, 2013). У результаті розрахунку різниці між спектральними кривими відбиття отримано відповідні диференційні спектри (рис. 1). У диференційному спектрі приквіткових листків, порівняно із стебловими листками, наявність максимуму при 550 нм засвідчило підвищення накопичення антоціанів, а мінімуму при 680 нм — відносне зниження локалізації хлорофілів. У разі диференційного спектра

Таблиця 2. Колориметричні характеристики тканин вегетативних органів *Lamium purpureum*

 Table 2. Colorimetric characteristics of tissues of vegetative organs of *Lamium purpureum*

Колориметричний параметр	Приквіткові листки	Стеблові листки	Стебла
λ_D нм (домінувальна довжина хвилі)	495,8 ***	579,4	593,5
P_e , % (умовна чистота кольорового тону)	8,03	13,46	19,64
L^* (коефіцієнт яскравості)	37,46	41,76	46,54
a^* (колориметричний коефіцієнт)	0,77	-7,00	0,81
b^* (колориметричний коефіцієнт)	-38,06	-32,52	-33,01

*** Тут і в табл. 5 позначено додаткову довжину хвилі в діапазоні пурпурових кольорів.

 Таблиця 3. Колірні відмінності приквіткових листків порівняно із стебловими листками та стеблами *Lamium purpureum*

 Table 3. Color differences of lowermost floral leaves compared to uppermost stem leaves below the verticillaster and stems of *Lamium purpureum*

Показник колірної відмінності	Стеблові листки	Стебла
ΔE^* (повна колірна відмінність)	10,47	10,39
ΔL^* (відмінність за яскравістю)	-4,30	-9,08
ΔC^* (відмінність за кольоровістю)	4,80	5,04
ΔH^* (відмінність за кольоровим тоном)	8,25	0,16

приквіткових листків порівняно зі стеблами присутність максимумів при 570 і 690 нм підтвердило переважне накопичення обох пігментів. Відсутність в обох диференційних спектрах виражених екстремумів у діапазоні УФ-поглинальних флавоноїдів можна пояснити подібною тенденцією локалізації цих сполук у порівняних тканинах. Параметри диференційних спектрів відбиття слід розглядати як маркерні ознаки специфічної локалізації антоціанів у різних тканинах *L. purpureum*.

У результаті дослідження спектрального розподілу світлового потоку, що відбивається від поверхневих тканин, визначено відповідні колориметричні параметри (табл. 2). Слід відзначити, що встановлене нами значення домінувальної довжини хвилі у діапазоні пурпурових кольорів відповідає зоровому сприйняттю приквіткових листків. Складання різних кольорових стимулів пігментів призвело до низьких значень величини умовної чистоти кольорового тону досліджених зразків (Ohta, Robertson, 2006). Мінімальне значення коефіцієнта яскравості встановлено для приквіткових листків. Позитивні значення коефіцієнта a^* приквіткових листків і стебел відповідають домінуванню червоного кольору (Cairone et al., 2020), що обумовлено підвищеною локалізацією антоціанів і узгоджувалось із величинами A_{31}/A_{41} та mARI.

Негативне значення показника a^* для стеблових листків свідчило про домінування зеленого кольору (Cairone et al., 2020). Досліджені тканини також характеризувались негативними значеннями коефіцієнта b^* .

Різний спектральний розподіл інтенсивності відбиття залежно від довжини хвилі обумовив колірні відмінності приквіткових листків відносно стеблових листків та стебел (табл. 3), що встановлено із використанням диференційної колориметрії. Розраховані величини інтегральної колірної відмінності ΔE^* свідчили про суттєву різницю у кольорових характеристиках порівнюваних тканин згідно з рекомендаціями (Žbik et al., 2023). Порівнянний внесок в інтегральну величину ΔE^* приквіткових листків відносно стеблових листків відзначено для відмінності за яскравістю ΔL^* та кольоровістю ΔC^* , найсуттєвіший — для відмінності за кольоровим тоном ΔH^* (табл. 3), оскільки цей показник формується переважно внаслідок підвищення інтенсивності максимуму антоціанів у спектрі відбиття (рис. 1, табл. 1). Для колірної відмінності приквіткових листків відносно стебел найсуттєвіший внесок у величину ΔE^* встановлено для відмінності за яскравістю ΔL^* , порівнянний — для відмінності за кольоровістю ΔC^* , несуттєвий — для відмінності за кольоровим тоном ΔH^* (табл. 3).

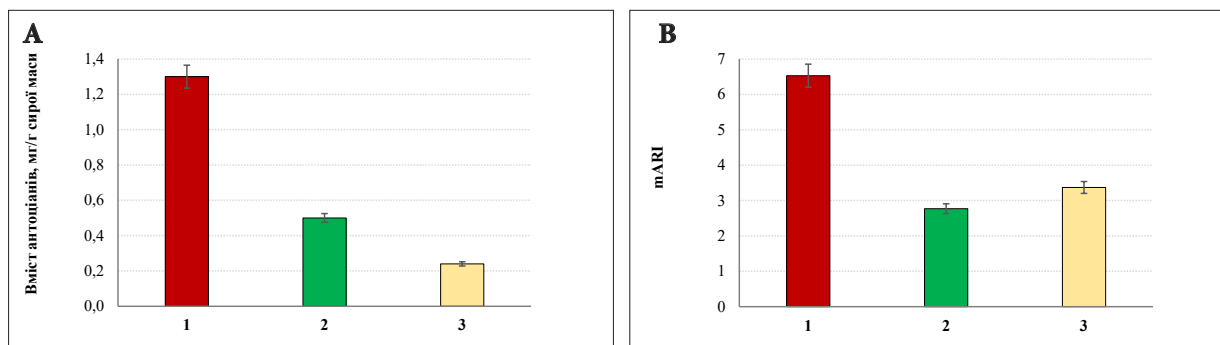


Рис. 2. Вміст антоціанів (А) та спектральний індекс mARI (В) тканин *Lamium purpureum*: 1 — приквіткові листки; 2 — стеблові листки; 3 — стебла

Fig. 2. Anthocyanin content (A) and mARI spectral index (B) of tissues of *Lamium purpureum*: 1 — lowermost floral leaves; 2 — uppermost stem leaves below the verticillaster; 3 — stems

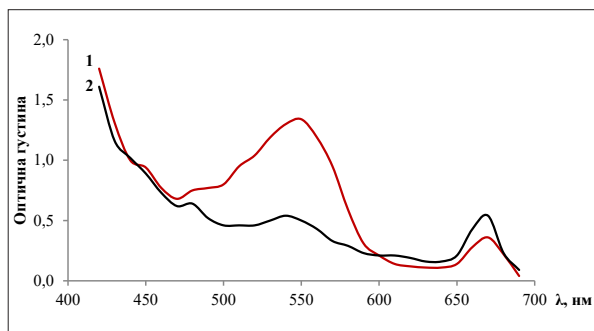


Рис. 3. Спектри поглинання екстракту найнижчих приквіткових листків *Lamium purpureum*: 1 — до обробки Al_2O_3 ; 2 — після обробки Al_2O_3

Fig. 3. Absorption spectra of the extract of lowermost floral leaves of *Lamium purpureum*: 1 — before Al_2O_3 treatment; 2 — after Al_2O_3 treatment

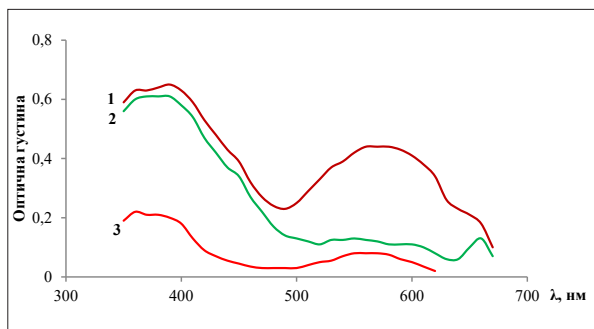


Рис. 4. Спектри відбиття адсорбатів з екстрактів тканин *Lamium purpureum* на оксиді алюмінію (Al_2O_3): — приквіткові листки; 2 — стеблові листки; 3 — стебла

Fig. 4. Reflectance spectra of adsorbates from extracts of tissues of *Lamium purpureum* on aluminum oxide (Al_2O_3): 1 — lowermost floral leaves; 2 — uppermost stem leaves below the verticillaster; 3 — stems

Для порівняльного аналізу накопичення антоціанів у вегетативних органах використовували два методичних підходи, які відрізняються різною інформативною значущістю. Перший підхід — визначення вмісту пігменту в розрахунку на сирі масу після екстракції рослинного препарату. Другий варіант — встановлення спектральних індексів mARI, які розраховані зі спектрів відбиття і відображують рівень локалізації антоціанів у поверхневих тканинах. Серед досліджених зразків максимальний вміст антоціанів спостерігався у загальній масі приквіткових листків та був знижений для стеблових листків у 2,6 раза, для стебел — у 5,4 раза (рис. 2). Така ж тенденція зниження порівняно із приквітковими листками підтверджена для спектрального індексу mARI: у 2,4 раза для стеблових листків та в 1,9 раза для стебел (рис. 2). Менший ступінь зниження спектрального показника mARI пояснюється переважною локалізацією антоціанів у поверхневих тканинах. Водночас індекс mARI підтвердив більш контрастні відміни у локалізації антоціанів для досліджених тканин порівняно з інтенсивністю аналітичного максимуму A_{3T} у спектрах відбиття (табл. 1).

Антоціани у спектрі поглинання екстракту приквіткових листків ідентифіковано за наявністю характерного максимуму при 540 нм, інтенсивність якого перевищує інтенсивність максимуму хлорофілу *a* при 667 нм у 3,7 раза (рис. 3).

Враховуючи хелатувальні властивості антоціанів (Fedenko et al., 2017), ідентифікація цих сполук може бути проведена шляхом

Таблиця 4. Відбивальні характеристики адсорбатів з екстрактів тканин *Lamium purpureum* на оксиді алюмінію (Al_2O_3)
 Table 4. Reflectance characteristics of adsorbates from extracts of tissues of *Lamium purpureum* on aluminum oxide (Al_2O_3)

Показник	Приквіткові листки	Стеблові листки	Стебла
Положення максимуму			
λ_{1a} , нм	365, 391	365, 387	366, 385
λ_{2a} , нм	581	550, 590	567
λ_{3a} , нм	660	670	–
Інтенсивність максимуму			
A_{1a}	0,63; 0,64	0,61; 0,61	0,22; 0,21
A_{2a}	0,43	0,12; 0,11	0,07
A_{3a}	0,21	0,13	–
Співвідношення інтенсивностей максимумів			
A_{1a}/A_{3a}	3,07	4,69	–
A_{2a}/A_{3a}	2,05	0,96	–

хемосорбції із рослинного екстракту на Al_2O_3 із наступним визначенням спектральних характеристик продукту взаємодії (адсорбату) (Fedenko, 2022). У результаті сорбційної взаємодії сполук в екстракті приквіткових листків з Al_2O_3 отримано адсорбат синього кольору. При цьому інтенсивність максимуму поглинання антоціанів в екстракті зменшилась у 2,5 рази (рис. 3), а ступінь вилучення антоціанів з екстракту за даними спектрофотометричного контролю складала 59%. Аналогічним чином отримано адсорбати з екстрактів стеблових листків та стебел. Характеристика отриманих адсорбатів досліджено із використанням твердофазної спектрофотометрії. Наявність розширеного максимуму при 550–590 нм (λ_{2a}) у спектрах відбиття адсорбатів підтвердила іммобілізацію антоціанів на поверхні сорбенту (рис. 4, табл. 4).

Батохромне зміщення на 23–40 нм максимуму антоціанів у спектрах відбиття адсорбатів (λ_{2a}) порівняно з тканинами (λ_{3t}) підтвердило хемосорбцію цих сполук із неасоційованими поверхневими групами $\equiv AlOH$ сорбенту, що підвищило ступінь спряження хромофорної системи (Fedenko et al., 2017). Інтенсивність максимуму λ_{2a} зменшувалась відповідно до вмісту антоціанів у тканинах (рис. 2). Високоінтенсивна короткохвильова смуга λ_{1a} із розподіленими максимумами при 365–366 та 385–391 нм підтвердила адсорбцію флавоноїдів на поверхні сорбенту (рис. 4, табл. 4). Раніше подібні максимуми у спектрах відбиття адсорбатів встановлено при дослідженні хемосорбції флавоноїдів на Al_2O_3 з екстрактів квіток

інвазійних видів родини *Asteraceae*: *Solidago canadensis* L., *Ambrosia artemisiifolia* L. і *Erigeron canadensis* L. (Fedenko, 2022, 2025a, 2025b). Присутність довгохвильового максимуму λ_{3a} при 670 нм для адсорбату з екстракту стеблових листків свідчила про наявність адсорбованих хлорофілів (рис. 4, табл. 4). Для адсорбату з екстракту приквіткових листків максимум λ_{3a} спостерігався як довгохвильовий перегин при 660 нм, а у разі препарату з екстракту стебел він був відсутній. Величини інтенсивності аналітичних максимумів та їхні співвідношення підтвердили, що флавоноїди та антоціани є основними компонентами адсорбованих сполук (рис. 4, табл. 4).

Особливості пігментного складу обумовили колориметричні параметри адсорбатів (табл. 5). Суперпозиція кольорових стимулів адсорбованих флавоноїдів і антоціанів у хелатованій формі призвела до низьких значень величини умовної чистоти кольорового тону препаратів приквіткових листків і стебел (Ohta, Robertson, 2006). Вище значення P_e із кольоровим стимулом у діапазоні жовтого кольору для адсорбату з екстракту стеблових листків слід пояснити домінуванням флавоноїдів порівняно з антоціанами та хлорофілами, що узгоджувалось з інтенсивністю відповідних максимумів у спектрах відбиття (рис. 4). Максимальне значення коефіцієнта яскравості встановлено для препарату приквіткових листків. Досліджені адсорбати також характеризувались негативними значеннями коефіцієнтів a^* і b^* , що характерно для хелатованих антоціанів (Fedenko et al., 2017).

Таблиця 5. Колориметричні характеристики адсорбатів з екстрактів тканин *Lamium purpureum* на оксиді алюмінію (Al_2O_3)Table 5. Colorimetric characteristics of adsorbates from extracts of tissues of *Lamium purpureum* on aluminum oxide (Al_2O_3)

Колориметричний параметр	Приквіткові листки	Стеблові листки	Стебла
λ_d , нм (домінуюча довжина хвилі)	583,4	579,0	495,8 ***
P_e , % (умовна чистота кольорового тону)	2,88	23,30	2,17
L^* (коефіцієнт яскравості)	71,30	91,01	95,49
a^* (колориметричний коефіцієнт)	-11,00	-13,06	-11,01
b^* (колориметричний коефіцієнт)	-61,55	-47,85	-81,17

Таблиця 6. Колірні відмінності адсорбату з екстракту приквіткових листків порівняно із адсорбатами з екстрактів стеблових листків та стебел *Lamium purpureum*Table 6. Color differences of adsorbate from lowermost floral leaves extract compared to adsorbates from extracts of uppermost stem leaves below the verticillaster and stems of *Lamium purpureum*

Показник колірної відмінності	Стеблові листки	Стебла
ΔE^* (повна колірна відмінність)	24,09	31,15
ΔL^* (відмінність за яскравістю)	19,71	24,19
ΔC^* (відмінність за кольоровістю)	-12,92	19,39
ΔH^* (відмінність за кольоровим тоном)	4,99	3,00

За даними диференційної колориметрії адсорбат з екстракту приквіткових листків мав суттєву колірну відмінність порівняно з іншими препаратами за величиною інтегральної колірної відмінності ΔE^* (табл. 6). Суттєвий внесок в інтегральну величину ΔE^* між адсорбатами відзначено для відмінності за яскравістю ΔL^* та кольоровістю ΔC^* (табл. 6), що пов'язано із різною кількістю адсорбованих антоціанів відповідно до їхньої концентрації у вихідних екстрактах.

Отже, застосування комплексу спектральних методів дозволило встановити пігментний склад тканин різних вегетативних органів *L. purpureum*. Специфічність пігментації приквіткових і стеблових листків, а також верхньої частини стебла пов'язана з локалізацією у поверхневих тканинах флавоноїдів, антоціанів, каротиноїдів і хлорофілів у різних співвідношеннях. Пурпурове забарвлення тканин обумовлено накопиченням антоціанів, які ідентифіковані із використанням неруйнівного методу твердофазної спектروفотометрії, встановлення характерного максимуму поглинання в екстрактах і хелатувальної здатності при сорбційній взаємодії з оксидом алюмінію. Максимальне накопичення антоціанів відзначено у поверхневих тканинах приквіткових листків порівняно із найвищими стебловими листками

та частиною стебел між цими листками, що підтверджено підвищеним значенням інтенсивності аналітичного максимуму в спектрах відбиття тканин, спектральним індексом mARI, вмістом цих сполук за даними спектروفотометричного аналізу. Визначена шляхом колориметричних вимірів домінуюча довжина хвилі у діапазоні пурпурових кольорів для приквіткових листків підтвердила специфічну особливість *L. purpureum*.

Враховуючи встановлений нами факт накопичення антоціанів у вегетативних органах, слід проаналізувати, які додаткові властивості мають рослини *L. purpureum* з огляду на літературні дані щодо світлопоглинальної здатності цих сполук. Як відомо (Dong et al., 2024), структура антоціанів (глікозидів антоціанідинів) є делокалізованою π -спряженою системою, для якої характерні два основних максимуми поглинання в УФ (260–280 нм) та видимому (490–550 нм) діапазонах. Окрім цих основних смуг також проявляються менш інтенсивні максимуми у вигляді перегинів на спектральній кривій при 310–340 і 400–450 нм залежно від типу антоціанідину, характеру заміщення та кількості вуглеводних фрагментів (Dong et al., 2024). Оскільки антоціанідини *in vivo* переважно існують як глікозиди, такі спектральні характеристики

дозволяють здійснювати фотопротекцію від УФ-В до видимого діапазону в рослинах (Agati et al., 2021). Поєднання інтенсивного поглинання в УФ-діапазоні та надшвидкої деактивації шляхом внутрішнього перетворення із високою квантовою ефективністю дало підстави вважати антоціани суперфотокислотами із захисною роллю від надмірної сонячної радіації у тканинах вегетативних органів рослин, у тому числі від окиснювального стресу завдяки антиоксидантним властивостям (Rodrigues et al., 2009). Найвність максимуму поглинання в довгохвильовому діапазоні УФ-С (до 285 нм) дозволяє віднести антоціани до дисипативних структур, які виникли в процесі еволюції для забезпечення стійкості рослинних організмів до небезпечного УФ-С світла завдяки здатності до значної абсорбції високоенергетичних фотонів зі швидким перетворенням індукованої енергії електронного збудження в тепло (Michaelian, 2024).

Враховуючи поліфункціональність антоціанів у взаємодії рослин із середовищем (Fedepko et al., 2020), слід зазначити, що феномен сезонної варіації накопичення цих метаболітів раніше досліджено також для деяких інших видів рослин. Так, у результаті порівняльного аналізу листків з антоціановим забарвленням на початкових етапах розвитку та зрілих зелених листків встановлено, що при адаптації до сезонних змін антоціани беруть участь у безпечному розсіюванні енергії збудження у вигляді тепла та підсилюють фотозахисний ефект у рослин *Mangifera indica* L. (Gupta et al., 2021), а також *Castanopsis chinensis* (Spreng.) Hance та *Syzygium acuminatissimum* (Blume) DC. (*Acmena acuminatissima* (Blume) Merr. & L.M. Perry) (Yu et al., 2021). Зміни інтенсивності максимуму при 535 нм у спектрі відбиття листків *Solanum lycopersicum* L. запропоновано як маркерну ознаку активації регульованого розсіювання тепла для стресових умов вирощування рослин (Pescador-Dionisio et al., 2025). Підтверджена роль антоціанових пігментів у регуляції фотосинтезу за умов надлишку поглиненої світлової радіації у *Tradescantia pallida* (Rose) D.R. Hunt (Dewez, Perreault, 2013). З огляду на відомі дані слід припустити, що тканини із вищим вмістом антоціанів отримують більше теплової енергії у період раннього цвітіння *L. purpureum*. Цей феномен відомий як "leaf warming" (Agati et al., 2021). Враховуючи літературні дані, слід припустити, що

антоціани можуть забезпечувати пластичність до світлового режиму рослин *L. purpureum* як сціогеліофіту, що проявляється у стабільності фізіологічних функцій як за умов затінення, так і при повному освітленні.

Антоціани слід розглядати як додатковий компонент у системі фотозахисту, окрім флавоноїдів із протекторною здатністю відносно УФ-А (315–400 нм) та УФ-В (280–315 нм) радіації (Taniguchi et al., 2023). Оскільки для досліджених тканин встановлено порівняну абсорбцію для флавоноїдів (табл. 1), додаткове накопичення антоціанів може підсилювати фотопротекторний ефект. Цей факт підтверджено параметрами диференційних спектрів відбиття, які слід розглядати як маркерні ознаки відмінностей у взаємодії різних тканин із випромінюванням залежно від довжини хвилі (рис. 1). При цьому встановлення диференційних спектрів відбиття в одиницях абсорбції дозволило виявити відмінність тканин без видалення антоціанового епідермального шару клітин, на відміну від методичного підходу, який використано у роботі (Dewez, Perreault, 2013).

Запропонований методичний підхід дослідження накопичення антоціанів у тканинах вегетативних органів під час цвітіння на прикладі *L. purpureum* має перспективи застосування при експериментальному підтвердженні захисної стратегії для репродуктивного успіху інших видів (Barrett et al., 2008), а також для з'ясування ролі фенольних метаболітів у підвищенні конкурентоспроможності інвазійних рослин відповідно до гіпотези зміни захисту (shifting defence hypothesis) (Wan et al. 2019).

Інший аспект отриманих результатів пов'язаний із сучасним напрямом використання ресурсного потенціалу чужорідних (адвентивних) рослин (Lorenzo, Morais, 2023). Глуха кропива пурпурова привертає увагу як представник дикорослих лікарських рослин, які створюють сировинну базу в Україні для отримання біологічно активних речовин (Veretiuk et al., 2023). Екстракти *L. purpureum* проявляють інсектицидну, антифунгіцидну, сечогінну, протизапальну, протидіарейну, зв'язувальну, відхаркувальну, протиревматичну, кровоспинну, антиоксидантну та антимікробну активність (Abdullahi et al., 2019; Vergun et al., 2019; Grujić et al., 2017, 2020). У зв'язку із цим визначені діагностичні ознаки сировини *L. purpureum* при

дослідженні морфолого-анатомічної будови листків, стебел та квіток (Melnyk, Vodoslavskyi, 2023). За сучасними вимогами для доцільності використання інструментальних методів щодо удосконалення ідентифікації лікарської сировини (Hlushchenko, Kutsenko, 2023) встановлені спектральні характеристики тканин мають перспективу для подальшої розробки методичних підходів стандартизації трави глухої кропиви пурпурової на додаток до визначення вмісту фенольних сполук і флавоноїдів (Matkowski, Piotrowska, 2006; Leja et al., 2007; Grujić et al., 2017, 2020; Vergun et al., 2019; Deniz et al., 2021).

Отримані результати також удосконалюють деякі методичні підходи, які стосуються використання спектроскопії відбиття для контролю *L. purpureum* у посівах сільськогосподарських культур (Vrindts et al., 2002), диференціації видів (Falcioni et al., 2020), а також колориметричних досліджень листків за умов різних режимів освітлення (Cabahug et al., 2017).

Висновки

Із використанням комплексу спектральних методів вперше досліджено пігментний склад тканин різних вегетативних органів *L. purpureum*. Відповідно до положення та інтенсивності аналітичних максимумів у спектрах відбиття встановлено, що специфічність пігментації приквіткових листків, найближчих до основи суцвіття стеблових листків та частини стебла між цими листками пов'язана із локалізацією у поверхневих тканинах флавоноїдів, антоціанів, каротиноїдів та хлорофілів у різних співвідношеннях. Пурпурове забарвлення тканин обумовлено накопиченням антоціанів, які ідентифіковані за характерним максимумом у спектрах відбиття тканин і спектрах поглинання екстрактів, колориметричними параметрами, хелатувальною

здатністю. Як маркерні ознаки контрасту у взаємодії різних тканин із випромінюванням залежно від довжини хвилі запропоновано параметри диференційних спектрів відбиття. Максимальне накопичення антоціанів відзначено у поверхневих тканинах приквіткових листків. Специфічна особливість *L. purpureum* підтверджена значенням домінувальної довжини хвилі у діапазоні пурпурових кольорів для приквіткових листків. Позитивні значення колориметричного коефіцієнта a^* приквіткових листків і стебел із підвищеною локалізацією антоціанів відповідали домінуванню червоного кольору, а негативне значення для стеблових листків — домінуванню зеленого. Контраст у сприйнятті забарвлення встановлено шляхом розрахунку колірної відмінності між тканинами. Запропонований методичний підхід може бути використано для ідентифікації сировини глухої кропиви пурпурової при отриманні біологічно активних препаратів та неруйнівної діагностики пігментного складу рослин.

Подяки

Дослідження проведено в рамках науково-дослідної роботи "Екологічна оцінка інвазійної активності для створення Кадастру адвентивних видів флори і фауни степової зони України" (номер держреєстрації 0121U109771) за підтримки Міністерства освіти і науки України.

ДОТРИМАННЯ ЕТИЧНИХ НОРМ

Автор повідомляє про відсутність будь-якого конфлікту інтересів.

ORCID

В.С. Феденко  <https://orcid.org/0000-0002-4696-6981>

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Abdullahi A.M., Sarki A., Hafizu M.S., Kolawole A.A., Kuniya I.Z., Yusuf H.M., Joseph R. 2019. Insecticidal properties of leaf extract of *Lamium purpureum* (Lamiaceae) against maize weevils *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Jewel Journal of Scientific Research*, 4(1-2): 76–82.
- Agati G., Guidi L., Landi M., Tattini M. 2021. Anthocyanins in photoprotection: knowing the actors in play to solve this complex ecophysiological issue. *New Phytologist*, 232(6): 2228. <https://doi.org/10.1111/nph.17648>
- Baranovski B.A., Karmyzova L.A., Dubyna D.V., Shevera M.V. 2023. Bioecology and hemeroby of flora species in the Northern Steppe Dnipro Region. *Biosystems Diversity*, 31(4): 548–577. <https://doi.org/10.15421/012365>
- Barišić N., Stojković B., Tarasjev A. 2006. Plastic responses to light intensity and planting density in three *Lamium* species. *Plant Systematics and Evolution*, 262: 25–36. <https://doi.org/10.1007/s00606-006-0452-7>

- 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>
- Blinkova O.I. 2018. Features of the adaptation of alien species *Lamium purpureum* L. of secondary area. *Cherkasy University Bulletin. Biological Sciences Series*, 1: 7–16. [Блінкова О.І. 2018. Особливості адаптації чужорідного виду *Lamium purpureum* L. у вторинному ареалі. *Вісник Черкаського університету. Серія "Біологічні науки"*, 1: 7–16.] <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-1-7-16>
- Cabahug R.A.M., Soh S.Y., Nam S.Y. 2017. Effects of shading on the growth, development, and anthocyanin content of *Echeveria agavoides* and *E. marcus*. *Flower Research Journal*, 25(4): 270–277. <https://doi.org/10.11623/frj.2017.25.4.12>
- 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>
- Creech J.E., Santini J.B., Conley S.P., Westphal A., Johnson W.G. 2007. Purple dead-nettle (*Lamium purpureum*) and soybean cyst nematode response to cold temperature regimes. *Weed Science*, 55(6): 592–598. <https://doi.org/10.1614/WS-07-040.1>
- Davies K.M., Landi M., van Klink J.W., Schwinn K.E., Brummell D.A., Albert N.W., Chagné D., Jibrán R., Kulshrestha S., Zhou Y., Bowman J. L. 2022. Evolution and function of red pigmentation in land plants. *Annals of Botany*, 130(5): 613–636. <https://doi.org/10.1093/aob/mcac109>
- DeFelice M.S. 2005. Henbit and the dead-nettles, *Lamium* spp. — archangels or demons? *Weed Technology*, 19(3): 768–774. <https://doi.org/10.1614/WT-05-072.1>
- De Paola L., Veldhuis T.A., Kraaij M., Stavenga D.G., Tiedge K.J., van der Kooij C.J. 2026. Stacked scattering: The key to bright flowers lies in the mesophyll. *American Journal of Botany*, 113(1): e70104. <https://doi.org/10.1002/ajb2.70104>
- Deniz F.S.S., Orhan I.E., Duman H. 2021. Profiling cosmeceutical effects of various herbal extracts through elastase, collagenase, tyrosinase inhibitory and antioxidant assays. *Phytochemistry Letters*, 45: 171–183. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2021.08.019>
- Dewez D., Perreault F. 2013. Effect of the anthocyanic epidermal layer on Photosystem II and I energy dissipation processes in *Tradescantia pallida* (Rose) Hunt. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35: 463–472. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1089-5>
- Dong W., Yang X., Zhang N., Chen P., Sun J., Harnly J.M., Zhang M. 2024. Study of UV–Vis molar absorptivity variation and quantitation of anthocyanins using molar relative response factor. *Food Chemistry*, 444: 138653. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138653>
- Dubyna D.V., Dziuba T.P., Iemeljanova 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>
- Falcioni R., Moriwaki T., Pattaro M., Furlanetto R.H., Nanni M.R., Antunes W.C. 2020. High resolution leaf spectral signature as a tool for foliar pigment estimation displaying potential for species differentiation. *Journal of Plant Physiology*, 249: 153161. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153161>
- Fedenko V.S. 2008. Cyanidin as endogenous chelator of metal ions in maize seedling roots. *Ukrainian Biochemical Journal*, 80(1): 102–106. [Феденко В.С. 2008. Ціанідин як ендеогенний хелатор іонів металів у коренях проростків кукурудзи. *Український біохімічний журнал*, 80(1): 102–106.]
- Fedenko V.S. 2022. Chemisorption of flavonoids from canadian goldenrod on aluminum oxide. *Journal of Chemistry and Technologies*, 30(3): 340–348. [Феденко В.С. 2022. Хемосорбція флавоноїдів золотушника канадського на оксиді алюмінію. *Journal of Chemistry and Technologies*, 30(3): 340–348.] <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i3.262972>
- Fedenko V.S. 2025a. Light absorption capacity of flowers of the invasive species *Ambrosia artemisiifolia* L. *Biota. Human Technology*, 1: 28–38. [Феденко В. 2025. Світлопоглинальна здатність квіток інвазійного виду *Ambrosia artemisiifolia* L. *Biota. Human Technology*, 1: 28–38.] <https://doi.org/10.58407/bht.1.25.2>
- Fedenko V.S. 2025b. Flowers spectral characteristics of the invasive heliophyte species *Erigeron canadensis* L. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, 32: 134–145. [Феденко В.С. 2025. Спектральні характеристики квіток інвазійного виду-геліофіту *Erigeron canadensis* L. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія "Екологія"*, 32: 134–145.] <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-10>
- Fedenko V.S., Shemet S.A., Landi M. 2017. UV–vis spectroscopy and colorimetric models for detecting anthocyanin-metal complexes in plants: An overview of *in vitro* and *in vivo* techniques. *Journal of Plant Physiology*, 212: 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.02.001>
- Fedenko V.S., Shemet S.A., Guidi L., Landi M. 2020. Metal/metalloid-induced accumulation of phenolic compounds in plants. In: *Metal toxicity in higher plants*. Eds M. Landi, S.A. Shemet, V.S. Fedenko. New York: Nova Science Publishers, Inc., pp. 67–115.
- Fourati R., Scopa A., Ahmed C.B., Abdallah F.B., Terzano R., Gattullo C.E., Allegretta I., Galgano F., Caruso M.C., Sofo A. 2017. Leaf biochemical responses and fruit oil quality parameters in olive plants subjected to airborne metal pollution. *Chemosphere*, 168: 514–522. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.041>
- Grujić S.M., Džamić A.M., Mitić V.D., Stankov-Jovanović V., Marin P.D., Stojanović G.S. 2017. Effects of solvent extraction system on antioxidant activity of *Lamium purpureum* L. *Hemijska Industrija*, 71(5): 361–370. <https://doi.org/10.2298/HEMIND160518047G>

- Grujić S.M., Savković Ž.D., Ristić M.S., Džamić A.M., Grbić M.V.L., Vukojević J.B., Marin P.D. 2020. Glandular trichomes, essential oil composition, anti-Aspergillus and antioxidative activities of *Lamium purpureum* L. ethanolic extracts. *Archives of Biological Sciences*, 72(2): 253–263. <https://doi.org/10.2298/ABS200117019G>
- Gupta R., Sharma R.D., Singh M. 2021. Energy dissipation and photosynthetic electron flow during the transition from juvenile red to mature green leaves in mango (*Mangifera indica* L.). *Plant Biosystems*, 155(4): 925–934. <https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1810807>
- Hlushchenko L.A., Kutsenko N.I. 2023. Problems with identification of medicinal plants and medicinal plant raw materials. *Journal of Native and Alien Plant Studies*, 19: 38–52. [Глушченко Л., Куценко Н. 2023. Проблеми ідентифікації лікарських рослин та лікарської рослинної сировини. *Journal of Native and Alien Plant Studies*, 19: 38–51.] <https://doi.org/10.37555/2707-3114.19.2023.296366>
- Koski M.H., Leonard E., Tharayil N. 2024. Foliar flavonoids across an elevation gradient: Plasticity in response to UV, and links with floral pigmentation patterning. *Environmental and Experimental Botany*, 228: 106036. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.106036>
- Leja M., Mareczek A., Wyzgolik G., Klepacz-Baniak J., Czeakońska K. 2007. Antioxidative properties of bee pollen in selected plant species. *Food Chemistry*, 100(1): 237–240. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.047>
- Lisovets O.I., Udzhmadzhuridze V.H. 2022. Structure and seasonal dynamics of the adventitious fraction of the flora of "Gagarin Park" (Dnipro). *Ecology and Noospherology*, 33(2): 61–67. <https://doi.org/10.15421/032210>
- 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>
- Mashtaler O.V., Mikulich L.O., Sklyar Yu.B. 2024. Ontogenetic and vitality structures of cenopopulations of *Lamium* L. species in the conditions of Vinnytsia. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*, 9: 37–45. [Машталер О.В., Мікулич Л.О., Скляр Ю.Б. 2024. Онтогенетична та віталітетна структури ценопопуляцій видів роду *Lamium* L. в умовах м. Вінниця. *Український журнал природничих наук*, 9: 37–45.] <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.4>
- Matkowski A., Piotrowska M. 2006. Antioxidant and free radical scavenging activities of some medicinal plants from the *Lamiaceae*. *Fitoterapia*, 77(5): 346–353. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2006.04.004>
- Melnyk M.V., Vodoslavskiy V.M. 2023. Quality rate determination of medicinal plant raw materials of the genus *Lamium* L. species of Western Ukraine. *Pharmaceutical Review*, (1): 4–11. <https://doi.org/10.11603/2312-0967.2023.1.13665>
- Michaelian K. 2024. The pigment world: Life's origins as photon-dissipating pigments. *Life*, 14(7): 912. <https://doi.org/10.3390/life14070912>
- Nakashima S., Yamakita E. 2023. *In situ* visible spectroscopic daily monitoring of senescence of Japanese maple (*Acer palmatum*) leaves. *Life*, 13(10): 2030. <https://doi.org/10.3390/life13102030>
- Ohta N., Robertson A. 2006. *Colorimetry: fundamentals and applications*. Chichester, Hoboken: J. Wiley, 352 pp.
- Pavlyshak Y., Dankiv V. 2022. Analysis of the adventitious flora fraction of Drohobych District. *Ecological Sciences*, 4: 154–157. [Павлишак Я.Я., Даньків В.Я. 2022. Аналіз адвентивної фракції флори Дрогобицького району. *Екологічні науки*, 43(4): 154–157.] <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.25>
- Pescador-Dionisio S., Cendrero-Mateo M.P., Moncholí-Estornell A., Robles-Fort A., Arzac M.I., Renau-Morata B., Fernández-Marín B., García-Plazaola J.I., Molina R.V., Rausell C., Moreno J., Nebauer S.G., García-Robles I., Van Wittenbergh S. 2025. *In vivo* detection of spectral reflectance changes associated with regulated heat dissipation mechanisms complements fluorescence quantum efficiency in early stress diagnosis. *New Phytologist*, 245(2): 559–576. <https://doi.org/10.1111/nph.20253>
- Protoporova V.V. 1991. *Synantropnaya flora Ukrainy u puty ee razvytyaya*. Ed. D.N. Dobrochaeva. Kyiv: Naukova Dumka, 204 pp. [Протопопова В.В. 1991. *Синантропная флора Украины и пути ее развития*. Отв. ред. Д.Н. Доброчаева. Киев: Наукова думка, 204 с.]
- Rodrigues R.F., Ferreira da Silva P., Shimizu K., Freitas A.A., Kovalenko S.A., Ernsting N.P., Quina F.H., Macanita A. 2009. Ultrafast internal conversion in a model anthocyanin–polyphenol complex: Implications for the biological role of anthocyanins in vegetative tissues of plants. *Chemistry—A European Journal*, 15(6): 1397–1402. <https://doi.org/10.1002/chem.200801207>
- Sytar O., Zivcak M., Neugart S., Brestic M. 2020. Assessment of hyperspectral indicators related to the content of phenolic compounds and multispectral fluorescence records in chicory leaves exposed to various light environments. *Plant Physiology and Biochemistry*, 154: 429–438. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.06.027>
- 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>
- Tichý L., Axmanová I., Dengler J., Guarino R., Jansen F., Midolo G., Nobis M.P., Van Meerbeek K., Acíc S., Attorre F., Bergmeier E., Biurrun I., Bonari G., Bruelheide H., Campos J.A., Čarni A., Chiarucci A., Čuk M., Čušterevska R., Didukh Y., Dítě D., Dítě Z., Dziuba T., Fanelli G., Fernández-Pascual E., Garbolino E., Gavilán R.G., Gégout J.-C., Graf U., Güler B., Hájek M., Hennekens S. M., Jandt U., Jašková A., Jiménez-Alfaro B., Julve P., Kambach S., Karger D.N., Karrer G., Kavgac A., Knollová I., Kuzemko, A., Kuzmič, F., Landucci, F., Lengyel, A., Lenoir, J., Marcenò, C., Moeslund, J. E., Novák P., Pérez-Haase A., Peterka T., Pielech R., Pignatti A., Rašomavičius V., Růsiņa S., Saatkamp A., Šilc U., Škvorc Ž., Theurillat

- J.-P., Wohlgenuth T., 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>
- Veretiuk U.V., Prokopiak M.Z., Holinei H.M., Herts N.V. 2023. Medicinal plants in the flora of Ternopil. *Scientific Issue Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Biology*, 83(1-2): 6–13. [Веретюк У.В., Прокоп'як М.З., Голіней Г.М., Герц Н.В. 2023. Лікарські види рослин у флорі міста Тернополя. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*: 83(1-2): 6–13.] <https://doi.org/10.25128/2078-2357.23.1-2.1>
- Vergun O.M., Grygorieva O.V., Brindza J., Shymanska O.V., Rakhmetov D.B., Horčínová Sedlačková V., Korablova O.A., Fishchenko V.V., Ivanišová E. 2019. Content of phenolic compounds in plant raw of *Cichorium intubus* L., *Lamium purpureum* L. and *Viscum album* L. *Plant Introduction*, 83: 87–96. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3404149>
- Vrindts E., De Baerdemaeker J., Ramon H. 2002. Weed detection using canopy reflection. *Precision Agriculture*, 3: 63–80. <https://doi.org/10.1023/A:1013326304427>
- Wan J., Huang B., Yu H., Peng S. 2019. Reassociation of an invasive plant with its specialist herbivore provides a test of the shifting defence hypothesis. *Journal of Ecology*, 107(1): 361–371. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13019>
- Yu Z. C., Lin W., Zheng X.T., Chow W.S., Luo Y.N., Cai M.L., Peng C.L. 2021. The relationship between anthocyanin accumulation and photoprotection in young leaves of two dominant tree species in subtropical forests in different seasons. *Photosynthesis Research*, 149: 41–55. <https://doi.org/10.1007/s11220-020-00781-4>
- Žbik K., Onopiuk A., Szpicer A., Kurek M. 2023. Comparison of the effects of extraction method and solvents on biological activities of phytochemicals from selected violet and blue pigmented flowers. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(6): 6600–6608. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-02158-2>

Anthocyanin pigmentation of tissues of vegetative organs of *Lamium purpureum* (Lamiaceae)

V.S. FEDENKO

Oles Honchar Dnipro National University,
72 Nauky Avenue, Dnipro 49045, Ukraine

Abstract. Among the specific features of plants, the phenomenon of purple pigmentation of tissues in vegetative organs in some species at early stages of development deserves attention. One of such species is the purple dead-nettle *Lamium purpureum*, a common species of alien plants in the flora of Ukraine. The pigment composition of the tissues in vegetative organs of *L. purpureum* has not yet been clarified. In this regard, the pigment composition in tissues of various vegetative organs of *L. purpureum* at early stages of development was first studied using a set of spectral methodological approaches (non-destructive solid-phase spectrophotometry, absorption spectroscopy of extracts, identification of the chelating ability of pigments). The specificity of pigmentation of the lowermost floral leaves, uppermost stem leaves below the verticillaster, and the highest part of the stem under the inflorescence is associated with the localization of flavonoids, anthocyanins, carotenoids, and chlorophylls in different ratios in the surface tissues. The purple color of tissues is due to the accumulation of anthocyanins, which are identified by the characteristic maximum in the reflectance spectra of tissues and the absorption spectra of extracts, colorimetric parameters, and chelating ability. The parameters of the differential reflectance spectra were determined as marker signs of the specific localization of anthocyanins in various plant tissues. The maximum accumulation of anthocyanins was registered in the surface tissues of floral leaves. The contrast in the perceived color was established by calculating the color difference between tissues. The proposed methodological approach can be used for identification of raw materials of the purple dead-nettle when obtaining biologically active preparations and non-destructive diagnostics of the pigment composition of plants.

Keywords: anthocyanins, colorimetry, *Lamium purpureum*, protective effect, reflectance characteristics