



Journal of Chemistry and Technologies

pISSN 2663-2934 (Print), ISSN 2663-2942 (Online).

journal homepage: <http://chemistry.dnu.dp.ua>
editorial e-mail: chem.dnu@gmail.com



UDC 547.972 + 543.4

SPECTRAL CHARACTERISTICS OF FLAVONOIDS OF *ROBINIA PSEUDOACACIA* L. AND *ROBINIA HISPIDA* L. FLOWERS

Volodymyr S. Fedenko

Oles Honchar Dnipro National University, 72, Nauky Ave., Dnipro 49045, Ukraine

Received 7 April 2025; accepted 23 July 2025; available online 20 October 2025

Abstract

The results of solid-phase analysis of flowers of common black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) and bristly locust (*Robinia hispida* L.), which are used as dietary supplements for the creation of innovative food products and medicinal plant raw materials, are presented. It has been established that a combination of characteristics of reflectance spectra, the first derivative of spectral curves, and colorimetry, which determine the distinctive features of the flowers of these species, can be used for identification. A characteristic feature of the spectral characteristics of black locust flowers is the localization of UV-absorbing flavonoids in the surface tissues. The specificity of the color of the flowers of the bristly locust tree creates an accumulation of anthocyanin pigments, for which the dominance of the flavylic form in superposition with the copigmented form has been established, which leads to the perception of a purple color. Differentiation of the spectral reflectance curve of flowers proved to be an effective way to confirm this phenomenon. The spectral approaches used expand the methodological basis of non-destructive analysis of raw materials of robinia flowers for the creation of innovative food products and the improvement of pharmacognostic studies. The ability to chemisorption of flavonoids from *R. pseudoacacia* flower extract on aluminum oxide was established, and a biohybrid material was obtained using a biocompatible sorbent. The obtained reflectance and colorimetric characteristics of the sorption interaction product confirmed the presence of adsorbed flavonoids. The proposed solid-phase analysis of a sorbent functionalized with biologically active substances can be used to control flavonoid compositions with a solid dispersion medium.

Keywords: flavonoids; anthocyanins; flowers of black locust and bristly locust; aluminum oxide; chemisorption; reflectance spectra; colorimetry.

СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЛАВОНОЇДІВ КВІТОК *ROBINIA PSEUDOACACIA* L. ТА *ROBINIA HISPIDA* L.

Володимир С. Феденко

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

Анотація

Представлено результати твердофазного аналізу квіток робінії звичайної (*Robinia pseudoacacia* L.) та робінії щетинистої (*Robinia hispida* L.), які використовують як дієтичні добавки для створення інноваційних харчових продуктів та лікарську рослинну сировину. Встановлено, що для ідентифікації може бути використана сукупність характеристик спектрів відбиття, першої похідної спектральних кривих та колориметрії, які визначають відмінні ознаки квіток цих видів. Для спектральних характеристик квіток робінії звичайної характерною ознакою є локалізація в поверхневих тканинах УФ-поглинальних флавоноїдів. Специфічність забарвлення квіток робінії щетинистої створює накопичення антоціанових пігментів, для яких встановлено домінування флавілієвої форми в суперпозиції із копігментованою формою, що приводить до сприйняття пурпурового кольору. Диференціювання спектральної кривої відбиття квіток виявилось ефективним способом підтвердження такого феномену. Використані спектральні підходи розширюють методичну базу неруйнівного аналізу сировини квіток робінії для створення інноваційних харчових продуктів та удосконалення фармакогностичних досліджень. Встановлена здатність до хемосорбції флавоноїдів з екстракту квіток *R. pseudoacacia* на оксиді алюмінію та отриманий біогібридний матеріал із використанням біосумісного сорбенту. Отримані відбивальні та колориметричні характеристики продукту сорбційної взаємодії підтвердили наявність адсорбованих флавоноїдів. Запропонований твердофазний аналіз сорбенту, функціоналізованого біологічно активними речовинами, може бути застосований для контролю композицій флавоноїдів з твердим дисперсійним середовищем.

Ключові слова: флавоноїди; антоціани; квітки робінії звичайної та робінії щетинистої; оксид алюмінію; хемосорбція; спектри відбиття; колориметрія.

*Corresponding author: e-mail: opticlub.fedenko@gmail.com

© 2025 Oles Honchar Dnipro National University;

doi: 10.15421/jchemtech.v33i3.326311

Вступ

Серед проблем хімії біологічно активних речовин привертають увагу дослідження в контексті сучасного тренду – розробки інноваційних харчових продуктів з оздоровчими властивостями шляхом використання добавок нетрадиційної сировини генеративних частин квіткових рослин (edible flowers) [1–3]. Серед такої сировини розглядають квітки робінії звичайної (акації білої) *Robinia pseudoacacia* L. [4–7], а також спорідненого виду робінії щетинистої *Robinia hispida* L. [8; 9]. Серед комплексу біологічно активних речовин, які визначають харчові властивості сировини квіток цих видів, акцентують увагу на дослідженні вмісту та компонентного складу фенольних сполук [8; 9].

Квітки робінії звичайної використовують як лікарську сировину (Flores Robiniae pseudoacaciae) [10]. Для препаратів квіток *R. pseudoacacia* підтверджена протизапальна, жарознижувальна, відхаркувальна, антимікробна, антибактеріальна, спазмолітична, антиоксидантна, протипухлинна активності [4–6, 8; 10–12]. Біологічна активність фітокомпонентів обумовлює використання сировини Flores Robiniae pseudoacaciae для створення косметологічних засобів [13] та розробки інноваційних функціональних харчових продуктів [14; 15]. Робінію звичайну розглядають також як медоносну рослину, а склад фенольних сполук є маркерною ознакою якості акацієвого меду [16].

Екстракти із квіток видів робінії використовують для отримання нових біоматеріалів. Так, для екстракту квіток *R. pseudoacacia* проводять інкапсулювання в мікрочастинки на основі біорозкладних полісахаридів з метою підвищення стабільності та попередження деградації біологічно активних сполук із втратою активності [17], а також отримують екзосомоподібні наночастинки для підсилення терапевтичного ефекту [18]. На основі екстракту квіток *R. hispida* проведено «зелений» синтез вуглецевого наноматеріалу для флуориметричного визначення іонів Au(III) у водних середовищах [19].

Враховуючи хелатувальну здатність флавоноїдів [20; 21], слід припустити можливість отримання біогібридних матеріалів шляхом хемосорбції цих сполук на фармакологічно прийнятному оксиді алюмінію. Однак такі дослідження не

проведені, всупереч особливій актуальності для *R. pseudoacacia* в зв'язку з інтенсивним розвитком сучасного напрямку – використання біосировини інвазійних рослин для перероблення в продукти з різним функціональним призначенням [22].

З огляду на підвищення сучасних вимог до ідентифікації рослинної сировини, вважають актуальним застосування інструментальних методів аналізу для удосконалення таких досліджень [23]. Для вирішення цієї проблеми доцільно застосовувати твердофазну спектрофотометрію в видимому діапазоні, яка поєднує визначення відбивальних характеристик та фізичних параметрів кольору пігментованих тканин квіток [24; 25]. Однак можливості неруйнівного твердофазного аналізу флавоноїдів у квітках робінії не з'ясовані.

Мета роботи – дослідити спектральні характеристики квіток робінії звичайної та робінії щетинистої методом твердофазної спектрофотометрії.

Експериментальна частина

Об'єкти дослідження. Об'єктами дослідження виступали квітки *R. pseudoacacia* та *R. hispida*, відбір яких здійснювали на стадії цвітіння рослин у рекреаційній зоні ботанічного саду Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (травень 2024 р.).

Підготовка рослинного екстракту. Екстракт із квіток отримують із використанням ізопропанолу 24 год за 4 °C за співвідношення наважки сировини у свіжому вигляді (г) до об'єму екстрагента (мл) – 1 : 10 [20].

Хемосорбція флавоноїдів. Хемосорбцію сполук з екстракту на поверхні оксиду алюмінію (нейтральний, II ступінь активності за Брокманом) проводили за рекомендаціями роботи [20]. Контроль за процесом хемосорбції здійснювали за величиною оптичної густини максимуму при 349 нм у спектрах поглинання екстракту до і після обробки Al₂O₃. Спектри поглинання екстрактів вимірювали на спектрофотометрі DU-7HS. Для обчислення ступеню вилучення флавоноїдів із екстракту (X, %) використовували рівняння (1):

$$X = (A_0 - A_1) \cdot 100 / A_0, \quad (1)$$

де A₀ – оптична густина вихідного екстракту; A₁ – оптична густина екстракту після обробки Al₂O₃.

Вимірювання характеристик твердофазної спектрофотометрії. Аналогічні умови вимірювання відбивальних та колориметричних параметрів квіток та адсорбату створювали за рахунок користування стандартним тримачем твердих зразків до спектрофотометру за умов повного покриття поверхні (діаметр 2 см). Визначення спектральних характеристик квіток здійснювали одразу після відбору рослинного матеріалу. Спектри відбиття у діапазоні 350–800 нм вимірювали на спектрофотометрі Спекорд М40, обладнаному інтегровальною фотометричною сферою та касетою для математичної обробки «Data Handling I», яка дозволяє проводити диференціювання і згладжування спектральних кривих із виключенням випадкових шумових піків [26]. Інтенсивність спектрів відбиття представляли в одиницях оптичної густини.

Для колориметричних вимірів використовували іншу касету для математичної обробки Color Measurement для розрахунку колориметричних параметрів на основі даних спектрального розподілу інтенсивності відбиття квіток залежно від довжини хвилі в діапазоні 380–780 нм. Координати кольору X , Y , Z та координати кольоровості x , y визначали в системі CIE XYZ. Домінуючу довжину хвилі λ_d та умовну чистоту кольорового тону P_e встановлювали графічним способом за координатами квіток у кольоровому просторі [26]. У колориметричній системі CIE $L^*a^*b^*$ визначали інтегральний коефіцієнт яскравості L^* та колориметричні коефіцієнти a^* (співвідношення зеленої і червоної складової кольору) і b^* (співвідношення синьої та жовтої складової кольору). Ґрунтуючись на значеннях колориметричних коефіцієнтів, обчислювали повну колірну відмінність ΔE^* між квітками досліджених видів, а також розподіл цієї інтегральної величини на складники відмінностей за яскравістю ΔL^* , кольоровістю ΔC^* та кольоровим тоном ΔH^* [27].

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

Результати та їх обговорення

Для порівняльної характеристики квіток видів робінії встановлено відбивальні та колориметричні характеристики, які

підтвердили специфічність їх забарвлення (рис. 1, таблиця). В спектрі відбиття квіток *R. pseudoacacia* спостерігалась високоінтенсивна короткохвильова смуга із максимумами за 365 і 380 нм (λ_k) та широкий низькоінтенсивний довгохвильовий максимум при 480 нм (λ_d) (рис. 1). Наявність смуги λ_k у спектрі відбиття пов'язано із флавоноїдами, серед яких переважають глікозиди лутеоліну [5; 8]. Мінорний максимум λ_d обумовлений каротиноїдами. Як порівняльний показник використане співвідношення оптичної густини довго- та короткохвильового максимумів у спектрах відбиття (A_k/A_d). Значення співвідношення A_k/A_d для квіток *R. pseudoacacia* склало 4.5.

У спектрі відбиття квіток *R. hispida* короткохвильова смуга також представлена двома максимумами за 365 і 380 нм (рис. 1), що обумовлено переважними компонентами в складі флавоноїдів – міріцетином, апігеніном і кемпферолом [8]. Довгохвильовий максимум за 558 нм пов'язаний із флавоїдними пігментами, серед яких домінують пеларгонідин-3-О-глюкозид та цианідин-3-О-глюкозид [8]. Значення співвідношення A_k/A_d для квіток *R. hispida* склало 1.7.

Для підвищення інформативності проведено диференціювання спектральної кривої відбиття квіток. У короткохвильовому діапазоні перша похідна спектру відбиття квіток обох видів представлена двома смугами: I смуга – $\lambda_{\text{макс}}$ 358 нм і $\lambda_{\text{мін}}$ 372 нм, II смуга $\lambda_{\text{макс}}$ – 375 нм і $\lambda_{\text{мін}}$ 401 нм (рис. 1). Співвідношення інтенсивностей I та II смуг у першій похідній спектру відбиття квіток робінії звичайної становило 0.35, а квіток робінії щетинистої – 0.25. Відмінна особливість першої похідної спектру відбиття квіток *R. hispida* – наявність додаткових смуг антоціанових пігментів у флавілієвій (III смуга – $\lambda_{\text{макс}}$ 507 нм і $\lambda_{\text{мін}}$ 590 нм) та копігментованій формах (IV смуга – $\lambda_{\text{макс}}$ 622 нм і $\lambda_{\text{мін}}$ 670 нм). Співвідношення інтенсивностей I та II смуг у першій похідній спектру відбиття квіток робінії щетинистої становило 27.33, що свідчило про значне переважання флавілієвої форми. Однак наявність копігментованої форми антоціанів навіть у незначній відносній кількості призводить до специфічності забарвлення квіток. Отже, за допомогою диференціювання спектральної кривої підтверджено складений характер довгохвильової смуги квіток *R. hispida*.

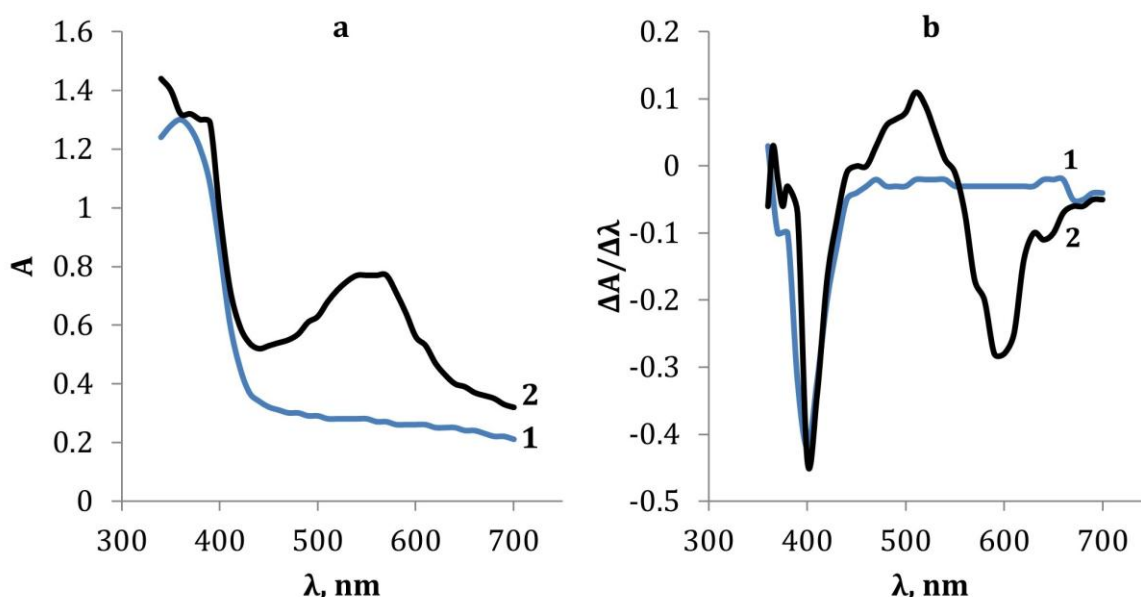


Fig. 1. Reflectance spectra of flowers (a) and their first derivatives (b): 1 – *Robinia pseudoacacia*; 2 – *Robinia hispida*

Рис. 1. Спектри відбиття квіток (а) та їх перша похідна (б): 1 – *Robinia pseudoacacia*; 2 – *Robinia hispida*

У результаті перетворення даних спектрального розподілу інтенсивності відбиття квіток залежно від довжини хвилі отримані колориметричні параметри (таблиця). Наявність у спектрі відбиття квіток робінії звичайної низькоінтенсивного максимуму каротиноїдів визначило стимул у

діапазоні жовтого кольору із низьким значенням умовної чистоти кольорового тону. Для рівноконтрастної системи встановлено високе значення інтегрального коефіцієнту яскравості L^* та від'ємні значення колориметричних коефіцієнтів a^* і b^* .

Colorimetric parameters of samples

Table

Колориметричні параметри препаратів

Таблиця

Sample	λ_d , nm	P_e , %	L^*	a^*	b^*
<i>Robinia pseudoacacia</i> flowers	581.5	10.32	83.64	-11.27	-58.83
<i>Robinia hispida</i> flowers	515.0*	19.56	55.16	9.79	-60.14
Adsorbate from extract of <i>Robinia pseudoacacia</i> flowers	579.0	33.33	100.56	-14.05	-36.76

Note: *Additional wavelength in the purple range.

Порівняно із квітками *R. pseudoacacia* локалізація в поверхневих тканинах квіток *R. hispida* антоціанових пігментів обумовила відмінності колориметричних параметрів: стимул у діапазоні пурпурового кольору, підвищення умовної чистоти кольорового тону, зниження значення інтегрального коефіцієнту яскравості, позитивне значення коефіцієнту a^* , зменшення додатного значення коефіцієнту b^* (таблиця). Природу пурпурового забарвлення квіток робінії щетинистої можна пояснити на основі отриманих відбивальних характеристик з урахуванням хімічних властивостей антоціанових пігментів і фізичних аспектів

формування кольорового стимулу. Як відомо [28], структурною особливістю антоціанів є здатність до рН-залежної динамічної рівноваги флавілієвої та хіноїдної форм. У рослинних тканинах хіноїдна форма може бути стабілізована внаслідок копігментації, яка відбувається шляхом асоціації з іонами металів та різними метаболітами (флавоноїди, фенольні кислоти, гідролізовані таніни). Для стабілізованої хіноїдної форми характерно підвищене спряження в хромоформній системі, що зменшує енергію електронного переходу і забезпечує прояв довгохвильової смуги ($\lambda_{\text{макс}}$ 622 nm і $\lambda_{\text{мін}}$ 670 nm), яка виявлена в першій похідній спектру відбиття квіток *R. hispida*

(рис. 1). Суперпозиція неасоційованої флавілієвої форми червоного кольору та копигментованої форми синього кольору приводить до сприйняття пурпурового кольору унаслідок складання двох стимулів згідно з фізичною закономірністю [29].

Для порівняльного аналізу розраховані кольорні відмінності квіток *R. hispida* порівняно

із квітками *R. pseudoacacia* (рис. 2). Слід наголосити, що в величину повної кольорної відмінності ΔE^* між квітками досліджених видів найсуттєвіший внесок відзначено для складників відмінностей за яскравістю ΔL^* та кольоровим тоном ΔH^* .

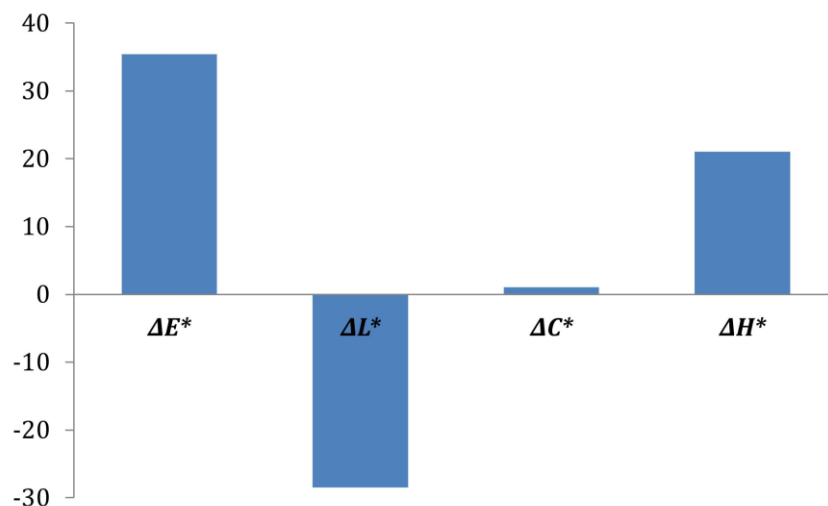


Fig. 2. Color differences of *Robinia hispida* flowers compared to *Robinia pseudoacacia* flowers
Рис. 2. Колірні відмінності квіток *Robinia hispida* порівняно із квітками *Robinia pseudoacacia*

Згідно із запропонованою нами типізацією забарвлення квіток покритонасінних рослин [30], сукупність встановлених спектральних параметрів (наявність у спектрі відбиття високоінтенсивного максимуму за 365 нм, низькоінтенсивної смуги за 480 нм, низьке значення P_e , високе значення L^*) дозволила віднести квітки робінії звичайної до типу із переважним накопиченням УФ-поглинальних флавоноїдів та мінорною кількістю інших пігментів. Натомість, характеристики квіток робінії щетинистої відповідають типу забарвлення із кольоровим стимулом у пурпуровому діапазоні внаслідок суперпозиції флавілієвої та копигментованої форм антоціанів за наявності максимумів УФ-поглинальних флавоноїдів у спектрах відбиття.

З огляду на хелатувальну здатність флавоноїдів [31], проведена ізопропанольна екстракція квіток робінії звичайної із наступною сорбційною взаємодією із фармакологічно прийнятним оксидом алюмінію для отримання біогібридного матеріалу в контексті розвитку сучасного напряму – використання біосировини

інвазійних рослин для перероблення в продукти із різним функціональним призначенням [22]. У спектрі поглинання екстракту квіток *R. pseudoacacia* спостерігалась високоінтенсивна короткохвильова смуга із максимумом за 349 нм (λ_k) (флавоноїди) та низькоінтенсивний довгохвильовий максимум за 442 нм (λ_d) (каротиноїди) зі співвідношенням інтенсивностей A_k/A_d 13.0 (рис. 3). В результаті сорбційної взаємодії флавоноїдів із Al_2O_3 отримано адсорбат жовтого кольору. Водночас інтенсивність максимуму λ_k екстракту суттєво зменшувалась (рис. 3), а ступінь вилучення флавоноїдів із екстракту за даними спектрофотометричного контролю склала 82.9 %.

Характеристики отриманого адсорбату досліджено із використанням твердофазної спектрофотометрії. В спектрі відбиття адсорбату встановлена наявність розширеного максимуму за 413 нм із короткохвильовим перегином за 365 нм (рис. 4), що підтвердило адсорбцію флавоноїдів на поверхні сорбенту.

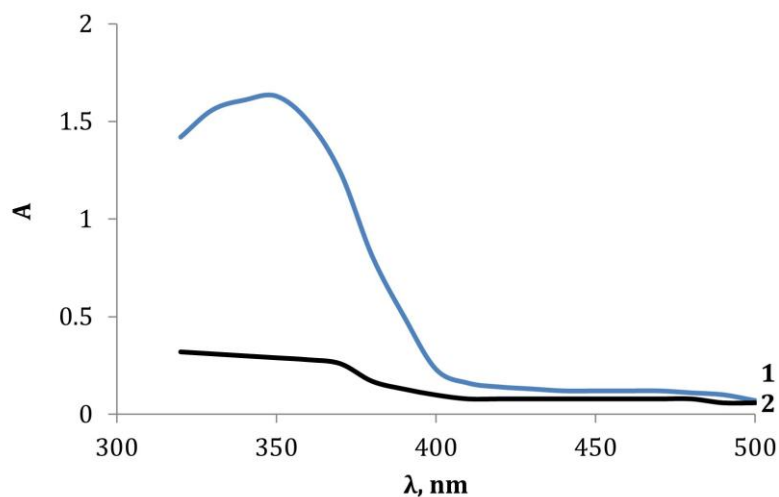


Fig. 3. Absorption spectra of *Robinia pseudoacacia* flower extracts: 1 – before Al_2O_3 treatment; 2 – after Al_2O_3 treatment

Рис. 3. Спектри поглинання екстрактів квіток *Robinia pseudoacacia*: 1 – до обробки Al_2O_3 ; 2 – після обробки Al_2O_3

Батохромне зміщення на 64 нм основного максимуму в спектрі відбиття адсорбату порівняно із максимумом у спектрі поглинання підтвердило, що сорбційна взаємодія флавоноїдів з поверхнею оксиду алюмінію відбувалась шляхом хемосорбції із неасоційованими поверхневими групами

$\equiv\text{AlOH}$ сорбенту, що підвищило ступінь супряження хромофорної системи глікозидів лютеоліну із сайтами зв'язування [5; 8]. Раніше подібна тенденція нами встановлена під час дослідження хемосорбції флавоноїдів з екстракту квіток золотушника канадського [20].

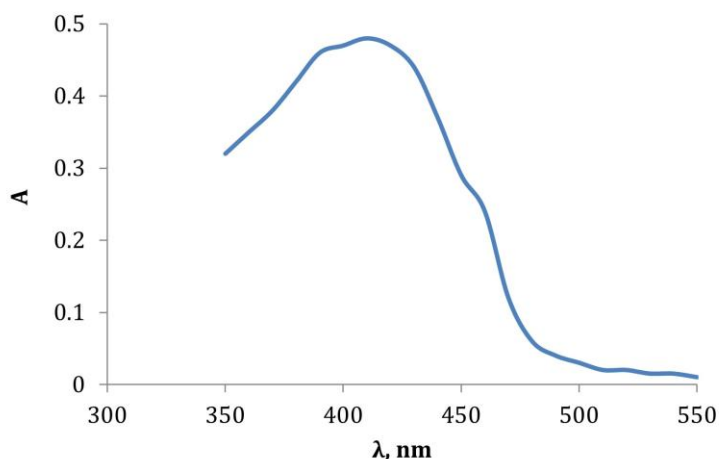


Fig. 4. Reflectance spectrum of adsorbate from *Robinia pseudoacacia* flower extract on aluminum oxide

Рис. 4. Спектр відбиття адсорбату з екстракту квіток *Robinia pseudoacacia* на оксиді алюмінію

Додаткові характеристики пігментованого адсорбату отримано в результаті розрахунку колориметричних параметрів (таблиця). Порівняно із кольоровим стимулом квіток для іммобілізованого препарату встановлено зменшення домінувальної довжини хвилі в діапазоні жовтого кольору на 2.5 нм із підвищенням умовної чистоти кольорового тону на 23.01 %. Тенденція збільшення від'ємних значень також відзначена для колориметричних коефіцієнтів a^* і b^* (таблиця).

Аналізуючи отримані результати слід зазначити, що для ідентифікації сировини квіток може бути використана сукупність характеристик спектрів відбиття, першої похідної спектральних кривих та колориметрії, які визначають відмінні ознаки *R. pseudoacacia* та *R. hispida*. Для спектральних характеристик квіток робінії звичайної визначальною ознакою є локалізація в поверхневих тканинах УФ-поглинальних флавоноїдів. Специфічність забарвлення квіток робінії шерстистої створює додаткове накопичення антоціанових пігментів, для яких

встановлено домінування флавілієвої форми в суперпозиції із копінгментованою формою, що приводить до сприйняття пурпурового кольору. Підтвердження такого феномену встановлено в результаті диференціювання спектральної кривої відбиття квіток. Використані прийоми розширюють методичну базу неруйнівного аналізу сировини квіток робінії, які використовують як добавки в створенні інноваційних харчових продуктів з оздоровчими властивостями [4–9]. Отримані результати відповідають сучасному напряму розширення ресурсної бази рослинного походження для створення таких функціональних продуктів [32]. Застосування твердофазної спектрофотометрії слід також розглядати в контексті актуальності використання інструментальних методів аналізу для удосконалення фармакогностичних досліджень на первинних стадіях виробництва лікарської сировини *Flores Robiniae pseudoacaciae* [23] і підтвердження ресурсної перспективності квіток *R. hispida* із високим вмістом біологічно активних речовин [8; 9]. Отримані спектральні характеристики можуть бути використані в подальшій розробці методичних підходів аналізу квіток робінії звичайної як медоносної рослини [33; 34].

Інший аспект отриманих результатів пов'язаний із встановленою нами здатністю до хемосорбції флавоноїдів із екстракту квіток *R. pseudoacacia*, що може бути використано для концентрування, стабілізації біофлавоноїдів і створення біогібридних матеріалів. Важливим аспектом є можливість застосування біосумісного сорбента та поновлювальної сировини інвазійних рослин, яка потребує переробки [22]. З метою спрощення отримання біопрепаратів можлива функціоналізація неорганічного наповнювача відразу із рослинного екстракту без попереднього розділення на індивідуальні сполуки, що може привести до зменшення стадійності процесу і відповідатиме принципам «зеленої» хімії. Запропонований твердофазний аналіз сорбенту,

функціоналізованого біологічно активними речовинами, може бути застосований для контролю композицій флавоноїдів із твердим дисперсійним середовищем, які створюють для покращення біофармацевтичних характеристик (підвищення розчинності та біодоступності фармацевтично активних інгредієнтів) [35].

Висновки

Із використанням твердофазної спектрофотометрії встановлено, що для ідентифікації сировини може бути використана сукупність характеристик спектрів відбиття, першої похідної спектральних кривих та колориметрії, які визначають відмінні ознаки квіток робінії звичайної та робінії щетинистої. Для спектральних характеристик квіток робінії звичайної характерною ознакою є локалізація в поверхневих тканинах УФ-поглинальних флавоноїдів. Специфічність забарвлення квіток робінії шерстистої створює накопичення антоціанових пігментів, для яких встановлено домінування флавілієвої форми в суперпозиції із копінгментованою формою, що приводить до сприйняття пурпурового кольору. Диференціювання спектральної кривої відбиття квіток виявилось ефективним способом підтвердження такого феномену. Використані спектральні підходи розширюють методичну базу неруйнівного аналізу сировини квіток робінії для створення інноваційних харчових продуктів та удосконалення фармакогностичних досліджень. Встановлено здатність до хемосорбції флавоноїдів з екстракту квіток *R. pseudoacacia* на оксиді алюмінію та отримано біогібридний матеріал із використанням біосумісного сорбенту. Отримані відбивальні та колориметричні характеристики продукту сорбційної взаємодії підтвердили наявність адсорбованих флавоноїдів. Запропонований твердофазний аналіз сорбенту, функціоналізованого біологічно активними речовинами, може бути застосовано для контролю композицій флавоноїдів із твердим дисперсійним середовищем.

References

- [1] Takahashi, J. A., Rezende, F. A. G. G., Moura, M. A. F., Domingue, L. C. B., Sande, D. (2020). Edible flowers: Bioactive profile and its potential to be used in food development. *Food Res. Int.*, 129, 108868. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108868>
- [2] Kumari, P., Bhargava, B. (2021). Phytochemicals from edible flowers: Opening a new arena for healthy lifestyle. *J. Funct. Foods*, 78, 104375. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104375>
- [3] Pensamiento-Niño, C. A., Castañeda-Ovando, A., Añorve-Morga, J., Hernández-Fuentes, A. D., Aguilar-Arteaga, K., Ojeda-Ramírez, D. (2024). Edible flowers and their relationship with human health: Biological activities.

- Food Rev. Int.*, 40(1), 620–639.
<https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2182885>
- [4] Stankov, S., Fidan, H., Ivanova, T., Stoyanova, A., Damyanova, S., Desyk, M. (2018). Chemical composition and application of flowers of false acacia (*Robinia pseudoacacia* L.). *Ukr. Food J.*, 7(4), 577–588.
<https://doi.org/10.24263/2304-974X-2018-7-4-4>
 - [5] Uzelac, M., Sladonja, B., Šola, I., Dudaš, S., Bilic, J., Famuyide, I. M., McGaw, L. J., Eloff, J. N., Mikulic-Petkovsek, M., Poljuha, D. (2023). Invasive alien species as a potential source of phytopharmaceuticals: Phenolic composition and antimicrobial and cytotoxic activity of *Robinia pseudoacacia* L. leaf and flower Extracts. *Plants*, 12, 2715. <https://doi.org/10.3390/plants12142715>
 - [6] Książkiewicz, M., Karczewska, M., Nawrot, F., Korybalska, K., Studzińska-Sroka, E. (2025). Traditionally used edible flowers as a source of neuroactive, antioxidant, and anti-inflammatory extracts and bioactive compounds: A narrative review. *Molecules*, 30(3), 677.
<https://doi.org/10.3390/molecules30030677>
 - [7] Tian, J., Gong, Y., Li, J. (2022). Nutritional attributes and phenolic composition of flower and bud of *Sophora japonica* L. and *Robinia pseudoacacia* L. *Molecules*, 27(24), 8932.
<https://doi.org/10.3390/molecules27248932>
 - [8] Hallmann, E. (2020). Quantitative and qualitative identification of bioactive compounds in edible flowers of black and bristly locust and their antioxidant activity. *Biomolecules*, 10, 1603.
<https://doi.org/10.3390/biom10121603>
 - [9] Ma, X. L., Chen, J. Z., Lu, X., Zhe, Y. T., Jiang, Z. B. (2021). HPLC coupled with quadrupole time of flight tandem mass spectrometry for analysis of glycosylated components from the fresh flowers of two congeneric species: *Robinia hispida* L. and *Robinia pseudoacacia* L. *J. Sep. Sci.*, 44(7), 1537–1551.
<https://doi.org/10.1002/jssc.202001068>
 - [10] Demeshko, O. V., Kovalev, V. N. (2010). [*Black locust. In Pharmaceutical encyclopedia*] (2th ed.). Kyiv, Ukraine: MORION (in Ukrainian).
<https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/1125/robinia>
 - [11] Rosu, A. F., Bitu, A., Calina, D., Rosu, L., Zlatian, O., Calina, V. (2012). Synergic antifungal and antibacterial activity of alcoholic extract of the species *Robinia pseudoacacia* L. (Fabaceae). *Eur. J. Hosp. Pharm.*, 19(2), 216–216.
<https://doi.org/10.1136/ejpharm-2012-000074.344>
 - [12] Bratu, M. M., Birghila, S., Stancu, L. M., Mfflai, C. C., Eموke, P., Popescu, A., Radu, M. D., Zglimbea, L. (2021). Evaluation of the antioxidant, cytotoxic and antitumoral activities of a polyphenolic extract of *Robinia pseudoacacia* L. flowers. *J. Sci. Arts*, 21(2), 547–556.
<https://doi.org/10.46939/J.Sci.Arts-21.2-b04>
 - [13] Jurca, T., Pallag, A., Vicas, L., Marian, E., Muresan, M., Ujhelyi, Z., Feher, P., Bacskey, I. (2021). Formulation and antioxidant investigation of creams containing Robiniae pseudacaciae Flos L. ethanolic extract. *Farmacia*, 69(4), 697–704. <https://doi.org/10.31925/farmacia.2021.4.9>
 - [14] Kowalczewski, P. Ł., Pauter, P., Smarzyński, K., Różańska, M. B., Jeżowski, P., Dwiecki, K., Mildner-Szkodlarz, S. (2019). Thermal processing of pasta enriched with black locust flowers affect quality, phenolics, and antioxidant activity. *J. Food Process. Preserv.*, 43(10), e14106.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.14106>
 - [15] Iancu, M. L. (2021). Edible flowers in novel foods: primary studies in the manufacture of flower compote of acacia (*Robinia pseudoacacia*), rose (*Rosa damascena*) and elder (*Sambucus nigra*). *J. Agroaliment. Processes Technol.*, 27(2), 164–171.
 - [16] Matkovits, A., Nagy, K., Fodor, M., Jókai, Z. (2023). Analysis of polyphenolic components of Hungarian acacia (*Robinia pseudoacacia*) honey; method development, statistical evaluation. *J. Food Compos. Anal.*, 120, 105336.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105336>
 - [17] Boškov, I. A., Savić, I. M., Grozdanić Stanisavljević, N. Đ., Kundaković-Vasović, T. D., Radović Selgrad, J. S., Savić Gajić, I. M. (2024). Stabilization of black locust flower extract via encapsulation using alginate and alginate–chitosan microparticles. *Polymers*, 16(5), 688.
<https://doi.org/10.3390/polym16050688>
 - [18] Wang, D., Zhang, H., Liao, X., Li, J., Zeng, J., Wang, Y., Li, M., Xu, J., Jin, P., Sheng, J. (2024). Oral administration of *Robinia pseudoacacia* L. flower exosome-like nanoparticles attenuates gastric and small intestinal mucosal ferroptosis caused by hypoxia through inhibiting HIF-1 α -and HIF-2 α -mediated lipid peroxidation. *Journal of Nanobiotechnology*, 22(1), 479.
<https://doi.org/10.1186/s12951-024-02663-6>
 - [19] Başoğlu, A. (2025). One-step green hydrothermal-assisted synthesis of carbon quantum dots from *Robinia hispida* L. flowers, and fluorimetric detection of Au³⁺ ions in aqueous media. *Luminescence*, 40(2), e70099.
<https://doi.org/10.1002/bio.70099>
 - [20] Fedenko, V. S. (2022). [Chemisorption of flavonoids from canadian goldenrod on aluminum oxide]. *J. Chem. Technol.*, 30(3), 340–348 (in Ukrainian).
<https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i3.262972>
 - [21] Fedenko, V. S. (2024). [Reflectance and colorimetric characteristics of metallocomplexes of flavonoids from canadian goldenrod]. *J. Chem. Technol.*, 32(1), 65–74 (in Ukrainian).
<https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i1.262957>
 - [22] 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>
 - [23] 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. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.37555/2707-3114.19.2023.293647>
 - [24] Dujmović, M., Radman, S., Opačić, N., Fabek Uher, S., Mikuličin, V., Voća, S., Šic Žlabur, J. (2022). Edible flower species as a promising source of specialized metabolites. *Plants*, 11(19), 2529.
<https://doi.org/10.3390/plants11192529>
 - [25] Fedenko, V. S. (2024). Spectral characteristics of protocyanin supramolecular pigment as pharmacognostic criteria of *Centaurea cyanus* L. flowers. *J. Chem. Technol.*, 32(2), 256–266 (in Ukrainian).
<https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i2.298075>
 - [26] Fedenko, V. S. (2007). [Dose effect of cyanidin interaction with lead ions in roots of maize seedlings]. *Ukrains'kyi Biokhimichniy Zhurnal*, 79(2), 24–29 (in Ukrainian).
 - [27] Fedenko, V. S., Landi, M., Shemet, S. A. (2017). Detection of nickel in maize roots: A novel nondestructive approach by reflectance spectroscopy and colorimetric models. *Ecol. Indic.*, 82, 463–469.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.021>

- [28] Trouillas, P., Sancho-García, J. C., De Freitas, V., Gierschner, J., Otyepka, M., Dangles, O. (2016). Stabilizing and modulating color by copigmentation: Insights from theory and experiment. *Chem. Rev.*, 116, 4937–4982.
<https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00507>
- [29] Ohta, N., Robertson, A. (2006). *Colorimetry: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons.
- [30] Fedenko, V. S. (2002). [Cooperation of carotenoid and phenolic pigments in flowers polychroism formation of cryptophyte]. *Fiziologia i Biokhimiia Kul'turnykh Rastenii*, 34(3), 199-212. (in Russian).
- [31] Fedenko, V. S., Shemet, S. A., Guidi, L., Landi, M. (2020). *Metal/metalloid-induced accumulation of phenolic accumulation in plants*. In M. Landi, S. A. Shemet, V. S. Fedenko (Eds.), *Metal toxicity in higher plants*. N.Y., USA: Nova Science Publishers.
- [32] Bomba, M. Y., Zazulyak, T. S., Zhytnetskyi, I. V., Fedyna, L. O. (2024). [The content of essential and toxic microelements in nettle dioecious in the aspect of using the plant as food raw material]. *J. Chem. Technol.*, 32(2), 417–422 (in Ukrainian).
<https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i2.299017>
- [33] Carl, C., Landgraf, D., Van der Maaten-Theunissen, M., Biber, P., Pretzsch, H. (2017). *Robinia pseudoacacia* L. flowers analyzed by using an unmanned aerial vehicle (UAV). *Remote Sens.*, 9(11), 1091.
<https://doi.org/10.3390/rs9111091>
- [34] Atanasov, A. Z., Evstatiev, B. I., Vladut, V. N., Biris, S. S. (2024). A novel algorithm to detect white flowering honey trees in mixed forest ecosystems using UAV-based RGB imaging. *AgriEngineering*, 6(1), 95–112.
<https://doi.org/10.3390/agriengineering6010007>
- [35] Colombo, M., Michels, L. R., Teixeira, H. F., Koester, L. S. (2022). Flavonoid delivery by solid dispersion: a systematic review. *Phytochem. Rev.*, 21, 783–808.
<https://doi.org/10.1007/s11101-021-09763-3>