

УДК 581.192:632.7:582.688.3

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.148.3.42>

ВПЛИВ *CAMERARIA OHRIDELLA* DESCHKA & DIMIĆ, 1986 НА ХІМІЧНИЙ ПРОФІЛЬ ЛИСТКІВ *AESCULUS FLAVA* AITON ТА *AESCULUS PAVIA* L. В УРБАНІЗОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Ситник С.А. – д.с.-г.н., доцент,
головний науковий співробітник науково-дослідної
лабораторії лісового господарства,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
orcid.org/0000-0002-7646-6347

Голобородько К.К. – д.б.н., професор,
головний науковий співробітник НДЛ наземної екології,
лісового ґрунтознавства та рекультивуації земель НДІ біології,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
orcid.org/0000-0001-7857-1119

Ловинська В.М. – д.с.-г.н., доцент,
головний науковий співробітник науково-дослідної
лабораторії лісового господарства,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
orcid.org/0000-0002-7359-9443

Досліджено вплив мінуючої молі *Cameraria ohridella* Deschka & Dimić, 1986 на компонентний склад органічних сполук у листках *Aesculus flava* Aiton та *Aesculus pavia* L. в умовах урбанізованого середовища. Зразки листків відбирали у насадженнях ботанічного саду Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара у період активної вегетації. Формували дві групи зразків: неушкоджені листки та листки з характерними мінами фітофага. Визначення компонентного складу органічних сполук проводили методом газової хроматографії та мас-спектрометрії після попередньої екстракції метанол-хлороформною сумішшю та дериватизації. У результаті аналізу встановлено, що хімічний профіль листків досліджуваних видів характеризується значною різноманітністю та включає понад 180 низькомолекулярних органічних компонентів, які належать до основних функціональних груп: вуглеводів, поліфенольних сполук, жирних кислот, стероїдів і вуглеводнів. Показано, що у структурі екстрактів обох видів домінують вуглеводи, частка яких змінюється залежно від ступеня uszkodження листків. Виявлено, що реакція досліджуваних видів на uszkodження фітофагом має виражений видоспецифічний характер. Для *A. flava* характерною є активація спеціалізованого метаболізму, що проявляється у синтезі нових поліфенольних компонентів, зокрема хлорогенової кислоти та епігалокатехіну, які відсутні у контрольних зразках. Це свідчить про індукцію захисних біохімічних процесів у відповідь на uszkodження. Натомість у *A. pavia* поліфенольний профіль залишається відносно стабільним, що проявляється у збереженні основних компонентів, зокрема катехіну та похідних хроменового поліфенолу. Показано, що зміни у складі жирних кислот і стероїдних сполук є менш вираженими, що вказує на відносну стабільність цих компонентів у структурі метаболічного профілю. Отримані результати свідчать про відмінності у механізмах адаптивної відповіді досліджуваних видів на uszkodження *Cameraria ohridella* та дозволяють розглядати поліфенольні сполуки як потенційні біохімічні маркери стійкості деревних рослин у міських екосистемах.

Ключові слова: хімічний профіль листків, органічні сполуки, фітофаг, біотичний стрес, спеціалізований метаболізм, *Cameraria ohridella*, *Aesculus*.



© Ситник С.А., Голобородько К.К., Ловинська В.М., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Sytnyk S.A., Holoborodko K.K., Lovynska V.M. Influence of *Cameraria ohridella* Deschka & Dimić, 1986 on the Chemical Profile of Leaves of *Aesculus flava* Aiton and *Aesculus pavia* L. in an Urbanized Environment

The influence of the horse chestnut leaf miner *Cameraria ohridella* Deschka & Dimić, 1986 on the component composition of organic compounds in the leaves of *Aesculus flava* Aiton and *Aesculus pavia* L. under urbanized conditions was investigated. Leaf samples were collected from plantings of the Botanical Garden of Oles Honchar Dnipro National University during the vegetation period. Two groups of samples were formed: healthy leaves and leaves with characteristic mines caused by the *C. ohridella*. The component composition of organic compounds was determined using gas chromatography mass spectrometry following preliminary extraction with a methanol–chloroform mixture and derivatization.

The analysis revealed that the chemical profile of leaves of the studied species is characterized by high diversity and includes more than 180 low-molecular-weight organic compounds belonging to the main functional groups: carbohydrates, polyphenolic compounds, fatty acids, steroids, and hydrocarbons. It was shown that carbohydrates dominate in the structure of extracts of both species, and their proportion varies depending on the degree of leaf damage.

It was established that the response of the studied species to phytophagous damage is species-specific. For *A. flava*, activation of specialized metabolism is characteristic, manifested in the synthesis of new polyphenolic components, including chlorogenic acid and epigallocatechin, which were absent in control samples. This indicates the induction of protective biochemical processes in response to damage. In contrast, the polyphenolic profile of *A. pavia* remains relatively stable, which is reflected in the preservation of major components, particularly catechin and chromene-derived polyphenols.

It was shown that changes in the composition of fatty acids and steroid compounds are less pronounced, indicating the relative stability of these components within the metabolic profile. The obtained results demonstrate differences in the adaptive response mechanisms of the studied species to damage caused by *Cameraria ohridella* and suggest that polyphenolic compounds can be considered potential biochemical markers of resistance of woody plants in urban ecosystems.

Key words: chemical profile of leaves, organic compounds, phytophagous insect, biotic stress, specialized metabolism, *Cameraria ohridella*, *Aesculus*.

Постановка проблеми. Сучасні урбоекосистеми характеризуються підвищеним рівнем антропогенного навантаження, що впливає на фізіологічний стан декоративних деревних рослин та їх здатність виконувати екологічні функції. Представники роду *Aesculus* широко використовуються у міському озелененні завдяки високій декоративності та адаптивності, однак їх ефективність значною мірою обмежується ушкодженням листового апарату мінуючою мілью *Cameraria ohridella*. Масове поширення цього фітофага призводить до зниження фотосинтетичної активності, передчасного старіння та втрати декоративності.

Відомо, що реакція рослин на біотичний стрес супроводжується перебудовою метаболічних процесів, зокрема змінами у складі первинних і спеціалізованих метаболітів [1, с. 781]. При цьому ступінь таких змін може істотно відрізнятися між видами, що визначає їхню стійкість до ушкодження. Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених впливу *C. ohridella* на види роду *Aesculus* [2, с. 518; 3, с. 5471], питання видоспецифічних особливостей перебудови хімічного складу листків у різних видів в умовах урбанізованого середовища залишається недостатньо вивченим.

У зв'язку з цим актуальним є дослідження змін компонентного складу органічних сполук асиміляційного апарату різних видів *Aesculus* під впливом фітофага з метою виявлення біохімічних особливостей їх адаптивної відповіді.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Упродовж останніх десятиліть поширення мінуючої молі *Cameraria ohridella* розглядається як один із найбільш значущих біотичних чинників, що впливають на стан каштанових насаджень у міських екосистемах Європи [4, с. 805; 5, с. 319].

Інтенсивне розселення цього фітофага супроводжується передчасним старінням листків, зниженням фотосинтетичної активності та погіршенням декоративних властивостей дерев, що зумовлює необхідність комплексного вивчення взаємодії між рослиною і шкідником [6, с. 11].

Більшість наукових праць присвячена вивченню біології *C. ohridella*, сезонної динаміки розвитку його популяцій, а також впливу кліматичних і екологічних факторів на інтенсивність ураження [7, с. 80]. Водночас останнім часом зростає інтерес до фізіолого-біохімічних аспектів взаємодії між рослинами та фітофагами [8, с. 223]. Доведено, що ушкодження листків мінером супроводжується перебудовою метаболічних процесів, зокрема змінами у вуглеводному обміні та накопиченні спеціалізованих метаболітів, які виконують захисні функції [9, с. 299]. Особливу роль у цих процесах відіграють поліфенольні сполуки, здатні впливати на стійкість рослин до біотичного стресу та обмежувати розвиток фітофага [1, с. 17781].

Низка досліджень свідчить, що рівень чутливості різних видів роду *Aesculus* до ушкодження *C. ohridella* значною мірою визначається особливостями хімічного складу листків. Зокрема, підвищений вміст катехінів, дубильних речовин і флавоноїдів може бути пов'язаний із формуванням більш ефективного захисного бар'єра, тоді як висока концентрація легкодоступних вуглеводів сприяє розвитку личинок фітофага [3 с. 5471].

Разом із тим більшість досліджень зосереджена переважно на окремих видах, передусім *Aesculus hippocastanum* L., тоді як порівняльний аналіз кількох видів роду *Aesculus* в однакових умовах урбанізованого середовища залишається недостатньо представленим у науковій літературі. Обмеженими є також дані щодо змін компонентного складу органічних сполук листків у відповідь на ушкодження *C. ohridella*, що ускладнює виявлення біохімічних маркерів стійкості.

Таким чином, існує необхідність у поглибленому дослідженні особливостей перебудови хімічного профілю листового апарату різних видів *Aesculus* під впливом мінуючої молі в умовах урбанізованих екосистем.

Метою роботи було встановити особливості змін компонентного складу органічних сполук у листках *A. flava* та *A. pavia* за умов ушкодження *C. ohridella* та визначити характер їх метаболічної відповіді на ушкодження фітофагом.

Виклад основного матеріалу дослідження. Збір дослідних зразків біомаси листків видів роду *Aesculus*. Зразки листків досліджуваних видів відбирали в умовах насаджень ботанічного саду Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (м. Дніпро) у період активної вегетації (липень 2024 р.). Для дослідження обирали дерева зі схожими морфометричними показниками, які не піддавалися обробці інсектицидами та іншими засобами захисту. Відбір проводили з нижньої частини крони з південного боку у ранкові години (9:00–11:00) за сприятних погодних умов. Для дослідження формували дві групи зразків: листки без ознак пошкодження та листки з характерними мінами *C. ohridella*. З кожного варіанта відбирали не менше 20 листків, які об'єднували у середню пробу. Такий підхід забезпечував репрезентативність вибірки та зменшував вплив індивідуальної варіабельності листового матеріалу. Після збору зразки висушували за кімнатної температури та використовували для хімічного аналізу.

Визначення компонентного складу органічних сполук листків. Для визначення компонентного складу органічних сполук використовували подрібнені зразки листків масою близько 1 г. Екстракцію проводили сумішню метанолу та хлороформу у співвідношенні 1:1 (8 мл) протягом 48 годин за кімнатної температури

з періодичним перемішуванням. Отриману суспензію фільтрували через мембранний фільтр (PTFE, 0,45 мкм), після чого 2 мл екстракту упарювали до сухого залишку у вакуумі. Сухий залишок піддавали дериватизації із застосуванням реагенту BSTFA (N,O-біс(триметилсиліл)трифлуорацетаміду) з додаванням 5 % TMS-Cl при нагріванні за температури 65 °C протягом 45 хв без використання розчинника. Отримані розчини використовували безпосередньо для аналізу.

Визначення складу метаболітів здійснювали методом газової хромато-мас-спектрометрії (GC-MS) на приладі Shimadzu GCMS-QP2010 (Японія). Розділення компонентів проводили на капілярній колонці Restek Rxi-5ms (довжина 30 м, внутрішній діаметр 0,25 мм, товщина плівки 0,25 мкм). Газ-носії – гелій (99,999%) зі швидкістю потоку 1,5 мл/хв. Температурну програму встановлювали в діапазоні від 50 до 300 °C: нагрівання зі швидкістю 10 °C/хв протягом перших 25 хв із подальшою ізотермічною витримкою при 300 °C протягом 25 хв. Температура інжектора становила 280 °C, інтерфейсу – 300 °C, іонізаційного джерела – 220 °C. Аналіз проводили у режимі без поділу потоку, об'єм інжекції – 1 мкл, тривалість аналізу – 50 хв. Ідентифікацію сполук здійснювали шляхом порівняння мас-спектрів із бібліотекою NIST-14 (National Institute of Standards and Technology, США). Сканування проводили у діапазоні 20–900 m/z у режимі повного іонного струму (TIC) при енергії іонізації 70 eV. Достовірність ідентифікації становила до 98 %. Обробку отриманих даних проводили із використанням стандартних методів варіаційної статистики, результати наведено як середні значення, отримані на основі аналізу повторностей.

Результати та обговорення. У результаті ідентифікації компонентів у метанол-хлороформних екстрактах листків *A. flava* та *A. pavia* встановлено, що хімічний склад обох видів включав широкий спектр низькомолекулярних органічних сполук, які належать до різних функціональних груп. У сукупності в листках двох досліджених видів було виявлено понад 180 компонентів, які за хімічною природою об'єднувалися у п'ять основних груп: вуглеводи, поліфенольні сполуки, жирні кислоти, стероїди та вуглеводні (рис. 1). У листках *A. flava* та *A. pavia* домінуючу частку становили вуглеводи. У контрольних зразках їх кількість у *A. flava* становила 111 компонентів, тоді як після ушкодження фітофагом зростала до 123. У *A. pavia* аналогічний показник збільшувався з 117 до 121 компонента.

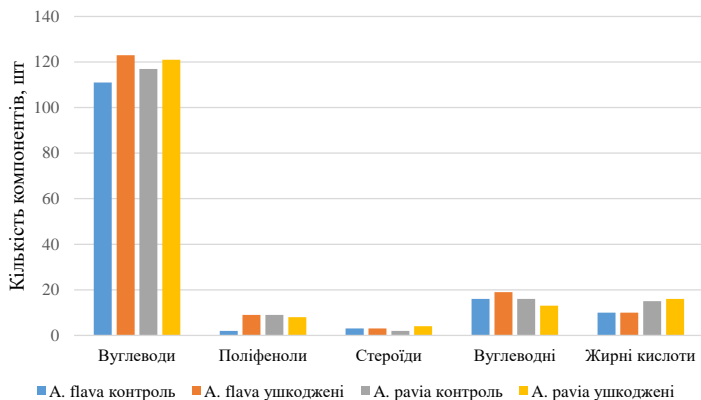


Рис. 1. Ідентифіковані компоненти основних груп органічних сполук у неушкоджених ушкоджених *C. ohridella* листках *A. flava* та *A. pavia*

За відносним вмістом вуглеводів виявлено, що в листках *A. flava* їх частка була вищою у неушкодженому стані, ніж після заселення комахи. У *A. pavia*, навпаки, після ушкодження спостерігалось зростання частки цієї групи в загальній структурі екстракту. Така відмінність може вказувати на різний характер регуляції первинного метаболізму у досліджуваних видів: для *A. flava* більш характерним є синтез якісно нових компонентів при відносному зменшенні частки вуглеводів, тоді як *A. pavia* демонструє тенденцію до посилення саме вуглеводної домінанти. Серед домінуючих вуглеводних компонентів в екстрактах обох видів стабільно ідентифікували сахарозу, D-пінітол, метилгалактозид та тимол- β -D-глюкопіранозид.

У межах жирнокислотної фракції для обох видів були характерні пальмітинова, стеаринова, нонанова та 2,4-пентандіова кислоти. При цьому істотних якісних змін у складі жирних кислот після ушкодження не виявлено, однак у *A. flava* спостерігалась тенденція до незначного розширення спектра компонентів цієї групи. Це дає підстави припустити, що для даного виду зміни жирнокислотного обміну можуть супроводжуватися формуванням додаткових мембранно-захисних реакцій.

Група стероїдних сполук в листках обох видів була представлена незначною кількістю компонентів, домінантним з яких був стигмастерол. Кількісні зміни в межах цієї групи були незначними, що може вказувати на відносну стабільність стероїдного компонента метаболічного профілю в умовах впливу фітофага.

Суттєві зміни відзначено у групі поліфенольних сполук. У листках *A. flava* кількість поліфенолів після ушкодження зростала більш ніж у чотири рази, з 2 до 9 компонентів, що може вказувати на індукцію захисних біохімічних процесів у відповідь на вплив *C. ohridella*. Натомість у *A. pavia* кількість поліфенольних компонентів залишалася відносно стабільною, що може демонструвати інший тип метаболічної реакції.

Отримані результати свідчать про виражені видоспецифічні особливості біохімічної відповіді рослин на ушкодження *C. ohridella*, що проявлялось насамперед у перебудові поліфенольного профілю листків (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльний вміст ключових поліфенольних компонентів у неушкоджених та ушкоджених листках *A. flava* та *A. pavia* (% від загальної площі піків GC-MS)

Компонент	<i>Aesculus flava</i>		<i>Aesculus pavia</i>	
	контроль	ушкоджені	контроль	ушкоджені
Катехін (цис-ізомер)	4,37	3,12	6,66	6,61
Катехін (транс-ізомер)	–	0,78	0,36	0,14
Шикімова кислота	0,94	0,54	0,47	0,36
Арбутин	0,31	0,40	0,85	0,83
п-Кумарова кислота	0,22	0,13	–	–
Хлорогенова кислота	–	1,19	–	–
Епігалокатехін	–	0,50	–	–
Хроменовий поліфенол	–	1,36	1,83	1,56

Аналіз поліфенольного профілю листків *A. flava* та *A. pavia* показав наявність спільного ядра, представленого катехіном, шикімовою кислотою, арбутином і похідним хроменого поліфенолу. Найвищий відносний вміст у всіх дослідних варіантах мав цис-ізомер катехіну, максимальна концентрація якого була

у листках *A. pavia*, як у контрольних (6,66 %), так і в ушкоджених *C. ohridella* зразках (6,61 %).

У листках *A. flava* за впливу фітофагу виявлено появу нових поліфенольних компонентів, а саме хлорогенової кислоти (1,19 %) та епігалокатехіну (0,50 %), які були відсутні у контрольних зразках. Це може свідчити про активацію фенілпропаноїдного шляху спеціалізованого метаболізму у відповідь на біотичний стрес, зумовлений *C. ohridella*.

Для *A. pavia* характерним було відносно стабільне накопичення похідного хроменого поліфенолу, вміст якого становив 1,83 % у контролі та 1,56 % в ушкоджених листках, що може вказувати на більш консервативний характер метаболічної відповіді рослини на вплив фітофага.

Отримані результати підтверджують відмінний характер поліфенольної реакції досліджуваних видів на ушкодження *C. ohridella*. Для *A. flava* характерною є індукована поява окремих поліфенольних сполук, зокрема хлорогенової кислоти та епігалокатехіну, що може свідчити про активацію спеціалізованого метаболізму у відповідь на пошкодження листкової пластинки комахою. Натомість у *A. pavia* поліфенольний профіль залишався відносно стабільним, що проявлялося у високому вмісті катехіну та похідного хроменого поліфенолу як у контрольних, так і в ушкоджених варіантах листків. Це може свідчити про вищий рівень конститутивного біохімічного захисту даного виду.

Загальні висновки. У результаті проведених досліджень встановлено, що хімічний склад листків *A. flava* та *A. pavia* характеризується значною різноманітністю органічних сполук, серед яких домінують вуглеводи, поліфенольні сполуки, жирні кислоти та стероїди. Встановлено, що ушкодження листків мінуючою міллю *C. ohridella* супроводжується змінами компонентного складу екстрактів листків обох видів, проте характер цих змін має виражені видові особливості. Для *A. flava* характерною є індукція синтезу окремих поліфенольних сполук, зокрема хлорогенової кислоти та епігалокатехіну, що свідчить про активацію захисних механізмів спеціалізованого метаболізму у відповідь на ушкодження фітофагом. Натомість у *A. pavia* поліфенольний профіль залишається відносно стабільним, що проявляється у збереженні основних компонентів та може вказувати на вищий рівень конститутивного біохімічного захисту. Виявлені відмінності у метаболічній відповіді досліджуваних видів на ушкодження *C. ohridella* демонструють їх видоспецифічний характер та можуть бути використані як біохімічні маркери стійкості при доборі декоративних деревних рослин для урбанізованого середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Scala A., Allmann S., Mirabella R., Haring M. A., Schuurink R. C. Green leaf volatiles: A plant's multifunctional weapon against herbivores and pathogens. *International Journal of Molecular Sciences*, 2013. Vol. 14, № 9. P. 17781–17811. <https://doi.org/10.3390/ijms140917781>.
2. Paterska M., Bandurska H., Dziadas M., Zawieja B., Chadzinikolaou, T. Analysis of the profile of volatile compounds during the growing season in leaves of *Aesculus* trees differing in susceptibility to horse chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimić). *Molecules*. 2025. Vol. 30, № 3. P. 518. <https://doi.org/10.3390/molecules30030518>.
3. Materska M., Pabich M., Sachadyn-Król M., Konarska A., Weryszko-Chmielewska E., Chilczuk B., Staszowska-Karkut M., Jackowska I., Dmitruk M. The secondary metabolites profile in horse chestnut leaves infested with horse-chestnut leaf miner. *Molecules*. 2022. Vol. 27, № 17. P. 5471. <https://doi.org/10.3390/molecules27175471>.

4. Gilbert M., Guichard S., Freise J., Grégoire J. C., Heitland W., Straw N., Tilbury C., Augustin S. Forecasting *Cameraria ohridella* invasion dynamics in recently invaded countries: From validation to prediction. *Journal of Applied Ecology*. 2005. Vol. 42. P. 805–813. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01074.x>.
5. Giertych M. J., Baraniak, E. *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae) oviposition preferences for leaf part and sun exposure. *Acta Zoologica Bulgarica*. 2025. Vol. 77, № 3. P. 319–325. <https://doi.org/10.71424/azb77.3002866>.
6. Percival G. C., Barrow I., Noviss K., Keary I., Pennington P. The impact of horse chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella* Deschka and Dimic; HCLM) on vitality, growth and reproduction of *Aesculus hippocastanum* L. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2011. Vol. 10, № 1. P. 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.11.003>.
7. Koval I. M., Chermnykh, M. O., Gololobov, V. V. Radial growth of common horse chestnut in green plantings of Lviv and Kharkiv. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2025. Вип. 43. С. 78–92. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-06>.
8. Holoborodko K., Seliutina O., Alexeyeva A., Brygadyrenko V., Ivanko I., Shulman M., Pakhomov O., Loza I., Sytnyk S., Lovynska V. The impact of *Cameraria ohridella* (Lepidoptera, Gracillariidae) on the state of *Aesculus hippocastanum* photosynthetic apparatus in the urban environment. *International Journal of Plant Biology*. 2022. Vol. 13. P. 223–234.
9. Seliutina O. V., Shupranova L. V., Holoborodko K. K., Shulman M. V., Bobylev Y. P. Effect of *Cameraria ohridella* on accumulation of proteins, peroxidase activity and composition in *Aesculus hippocastanum* leaves. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2020. Vol. 11. № 2. P. 299–304. <https://doi.org/10.15421/022045>.

Дата першого надходження статті до видання: 03.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 01.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026