

**ФІТОХІМІЧНИЙ ПОЛІМОРФІЗМ РОСЛИН РОДУ *ACER* L.
В УМОВАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

А. Ф. Ліханов,^{1,2} кандидат біологічних наук, доцент

М. О. Шевчук,¹ кандидат біологічних наук, доцент

М. Ю. Дубчак,¹ кандидат біологічних наук, старший викладач

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України

²ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України»

E-mails: likhanov.bio@gmail.com, mari4ka2204@gmail.com,
masha_dubchak@ukr.net

У роботі методом ВЕТШХ (на пластинках сілікагель G60 (Merck) у системі: етилметилкетон – етилацетат – метанол – вода (v/v/v/v – 30:20:5:5)) досліджено якісний склад вторинних метаболітів 13 видів рослин дев'яти секцій роду *Acer* з колекційного фонду Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України. У результаті фітохімічного профілювання метанольних екстрактів листків виявлено 19 індивідуальних сполук, що належать до класу фенолкарбонових кислот, їхніх кон'югатів і кумаринів. Найбільшу кількість фенолів (11 сполук) виявлено у рослин *Acer ukurunduense*. По 6 індивідуальних сполук виявлено в *Acer platanoides* і *Acer laetum* секції *Platanioidea*. Серед фенолкарбонових кислот у листках 9 видів роду *Acer* виявлено кавову (3,4-діоксикорічну) кислоту. За вмістом її кон'югата – хлорогенової кислоти – види досліджених рослин було нами поділено на 4 групи: види з мінорною (0,01 - 0,05 мг/мл), низькою (0,06-0,50 мг/мл), середньою (0,51-1,50 мг/мл) і високою (1,51- 2,00 мг/мл) кількістю хлорогенової кислоти. У листках рослин роду *Acer* також виявлено 16 флавоноїдів. Серед видів із широким спектром флавоноїдів виділено: *Acer heldreichii* (представник Балканської флори), *Acer monspessulanum* (природний ареал – Середземномор'я), *Acer mandshuricum* (природний ареал – Далекий Схід). Установлено, що рутин (кверцетин-3-О-рутинозид) міститься в листках 11 видів роду *Acer* із 13 досліджених. Значна кількість рутину виявлена в листках *Acer saccharinum*, *Acer heldreichii* і *Acer mandshuricum*. За отриманими біохімічними профілями досліджених рослин *Acer* визначена подібність видів, яка частково збігається з сучасним поділом роду на секції. Показано, що фітохімічні профілі рослин роду *Acer* є перспективними для виявлення гібридних форм, які можуть спонтанно виникати у міських насадженнях з можливістю оцінки їхнього інвазійного потенціалу.

Ключові слова: *Acer*, листки, адаптація, хемофенетика, феноли, флавоноїди.

У роді *Acer* L. близько 125 видів рослин, що поширені в Європі, Приморському Краї, Кореї, Японії, Північно-Східному Китаї, на території Північної і Центральної Америки. Більшість із них це деревні рослини, які зазвичай не утворюють моновидових фітоценозів, а входять до складу широколистяних, іноді шпилькових лісів, де ростуть поодинокі або групами (Sokolov et al., 1958). Значна кількість видів *Acer* інтродукована в Україні. Декоративні форми часто використовують у міському озелененні і є ресурсами якісної деревини.

Перші знахідки скам'янілостей представників роду *Acer* (Wolfe, Tanai, 1987; Boulter et al., 1996) указують на те, що клени виникли на початку палеоцену. На основі результатів аналізу послідовностей у понад 500 локусах ядерного ДНК Li J. зі співавторами (Li et al., 2019) показали, що рослини роду *Acer* виникли в Східній Азії. Звідти вони поширились у Західну Азію і Європу, і також Північну Америку. Розділення на секції *Spicata*, *Negundo*, *Palmata*, *Glabra*, *Parviflora*, *Macrantha*, *Ginnala*, *Macrophylla*, *Plantanoidea*, *Rubra*, *Acer* *и* *Trifoliata*, за їхнім припущенням було завершено до пізнього еоцену, що співпадає також з даними попередніх досліджень (Wolfe, Tanai 1987).

Неузгодженості диз'юнкцій видів рослин північної півкулі, які визначені за морфологічними ознаками, послідовностей ядерного геному і пластидної ДНК (зокрема видів секції *Parviflora*, *Spicata* та *Negundo*, які не утворюють клади) (Renner et al., 2008), обумовлені тим, що пластиди разом з ДНК передаються материнськими організмами (Corriveau, Coleman, 1988). Через захоплення хлоропластів пластидний геном може вирізнитись від ядерного, що характерно для кленів (Zhang et al., 2010), а також інших покритонасінних рослин (Lin et al., 2019).

Для пристосування до певних кліматичних умов і різноманітних погодних аномалій рослини здатні синтезувати широкий спектр низькомолекулярних органічних сполук, які відносяться до класу вторинних метаболітів (ВМ) (Semenov, 2000; Zaprometov, 1993). ВМ виконують різноманітні функції у

внутрішньоклітинних процесах, забезпечують екофізіологічну стабільність і життєздатність рослинного організму, є складовими екологічних взаємодій на рівні організму, популяції та екосистеми (Kharborn, 1985; Seigler et al., 1976). За якісним складом ВМ у рослин зазвичай існує суттєва міжвидова різниця (Likhanov, 2014; Likhanov et al., 2016; Modliszewski et al., 2006), але іноді вона виявляється навіть між особинами одного виду в межах окремої популяції.

Сучасні погляди на вторинний метаболізм виходять далеко за визначення їх виключно як продуктів захисних механізмів і адаптаційних реакцій до стресових чинників. Нині є підстави розглядати ВМ частиною молекулярних програм, що сприяють оптимальному росту та розвитку рослин (Brown, 2001). Вторинний метаболізм тісно пов'язаний із процесами диференціації клітин і формування тканин та органів рослин, де фактори транскрипції пов'язані з ВМ через складні регуляторні мережі, що контролюють біосинтез певних метаболітів. Регуляція метаболізму через експресію відповідних генів є відомим феноменом фенілпропаноїдного синтезу. Вважається, що регуляція взаємодії ген – метаболіт координується в ключових ланках розгалуження метаболічних шляхів. Утім, незважаючи на видоспецифічність комплексів вторинних метаболітів, на думку Wink (Wink, 2003) їхня індивідуальна невідповідність означає, що систематичне значення фітохімічних маркерів є предметом інтерпретації так само, як і традиційних морфологічних ознак. Якісний склад вторинних метаболітів обумовлений не тільки походженням і таксономічним положенням рослини, а, передусім, необхідним елементом їхньої адаптації, молекулярним інструментом реалізації життєвих стратегій, наявних у філогенетичній структурі виду.

У зв'язку з цим **метою роботи** було проведення фітохімічного профілювання аборигенних та інтродукованих в умови Правобережного Лісостепу України рослин роду *Acer* для визначення взаємозв'язків продуктів їхнього вторинного метаболізму зі систематичним положенням і адаптивним потенціалом.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження якісного складу ВМ у листках 13 видів роду *Acer* виконували на рослинах колекційного фонду Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України, які відносяться до дев'яти секцій: секція *Microcarpa*: клен татарський – *Acer tataricum* L., клен жовтий – *Acer ukurunduense* Trautv. & C.A. Mey.; секція *Gemmata*: клен псевдоплатановий – *Acer pseudoplatanus* L., клен Гельдрейха – *Acer heldreichii* Orph.; секція *Platanoidea*: клен світлий – *Acer laetum* C.A. Mey., клен гостролистий – *Acer platanoides* L., клен польовий – *Acer campestre* L.; секція *Palmata*: клен псевдозібольда – *Acer pseudosieboldianum* (Pax) Kom.; секція *Trifoliata*: клен манчжурський – *Acer mandshuricum* Maxim.; секція *Arguta*: клен бородатий – *Acer barbinerve* Maxim.; секція *Negundo*: клен американський – *Acer negundo* L.; секція *Goniocarpa*: клен монпельйський – *Acer monspessulanum* L.; секція *Saccharina*: клен сріблястий – *Acer saccharinum* L. (Sokolov et al., 1958).

Листки відбирали з нижньої частини крони (1,5-2,0 м). Для фітохімічних досліджень використовували середню частину листової пластинки. Екстракцію виконували метанолом (v/v – 1:10).

Біохімічне профілювання листків рослин роду *Acer* L. проводили методом високоефективної тонкошарової хроматографії (ВЕТШХ) на пластинках сілікагель G60 (Merck). Розділення флавоноїдів проводили в системі розчинників: етилметилкетон – етилацетат – метанол – вода (v/v/v/v – 30:20:5:5). Хроматограму після просушування обробляли 0,5 % натуральним реагентом (NP) дифенілборил оксиетиламіном і 1,0 % ПЕГ 400 з наступним нагріванням (3 хв за температури 105 °C). Фотоденситометричний аналіз виконували за допомогою програмного модуля Sorbfil TLC Videodensitometer.

Аналіз головних компонент (АГК) і кластерний аналіз виконували в програмі XLSTAT (Addinsoft Inc., США, 2010).

Результати дослідження та їх обговорення. На рисунку 1 представлено форми листків у видів *Acer* L., які за морфологічною будовою є надзвичайно різноманітними.

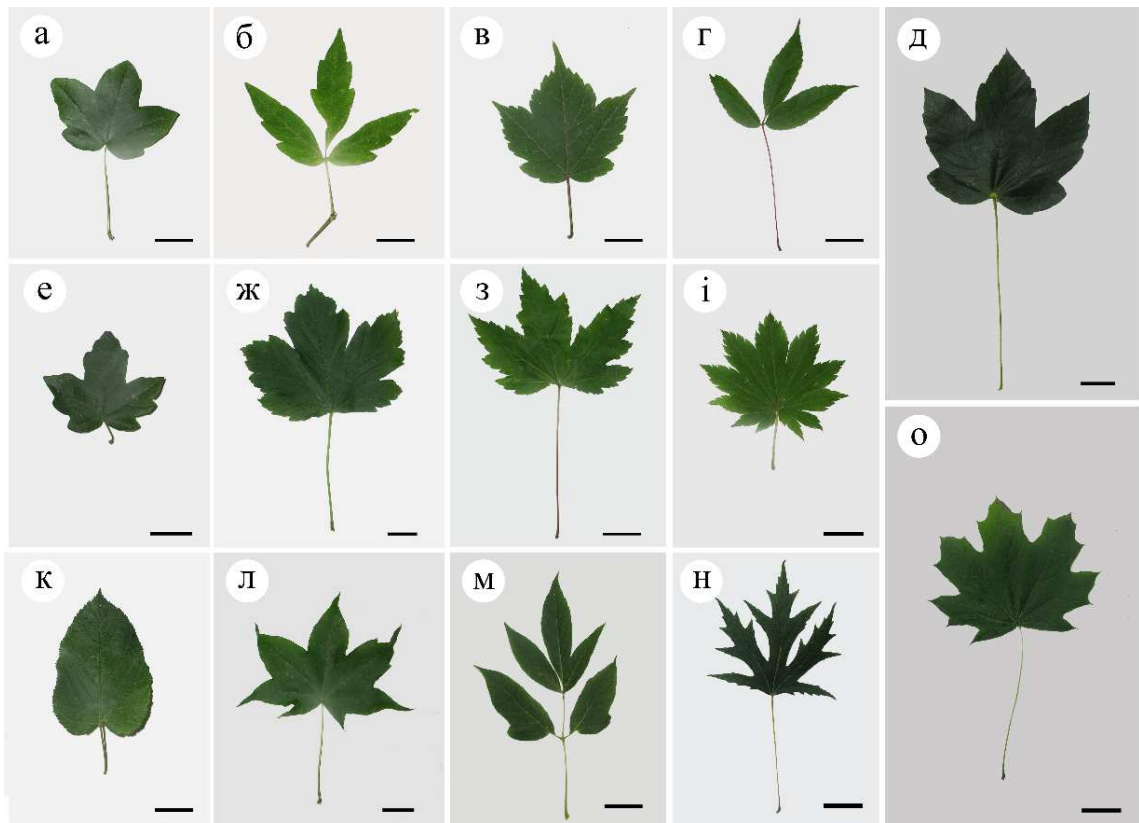


Рис. 1. Морфологічна будова листків рослин роду *Acer*:

а – *A. monspessulanum*, б – *Acer cissifolium*, в – *A. barbinerve*,
 г – *A. mandshuricum*, д – *A. pseudoplatanus*, е – *Acer campestre*, ж – *A. heldreichii*, з – *A. ukurunduense*, і – *A. pseudosieboldianum*, к – *A. tataricum.*, л – *A. laetum*,
 м – *A. negundo*, н – *A. saccharinum*, о – *A. platanoides*

Біохімічне профілювання фенольних сполук у листках 13 видів *Acer* дало змогу виявити 19 індивідуальних сполук, що за коефіцієнтами рухомості і специфіки автофлуоресценції в УФ ($\lambda = 365$ нм) належать до класу фенолкарбонових кислот, їхніх кон'югатів та кумаринів.

Найбільша кількість фенолів (11 сполук) визначена для *Acer ukurunduense*. Цей вид належить до секції *Microcarpa* і характеризується високою морозостійкістю, тіньовитривалістю, невибагливістю до ґрунтів. У *Acer tataricum* – також морозо- і посухостійкої, але напівтіньовитривалої рослини секції *Trilobata* в листках ідентифіковано 8 сполук (рис. 2). Водночас по 6 індивідуальних фенольних сполук виявлено в *Acer platanoides* і *Acer laetum* секції *Platanioidea*. Важливим, на нашу думку, також є той факт, що в листках *Acer pseudosieboldianum*, який характеризується тіньовитривалістю, на фоні

відносно невисокого вмісту хлорофілів кількість фенольних сполук також незначна (5 сполук).

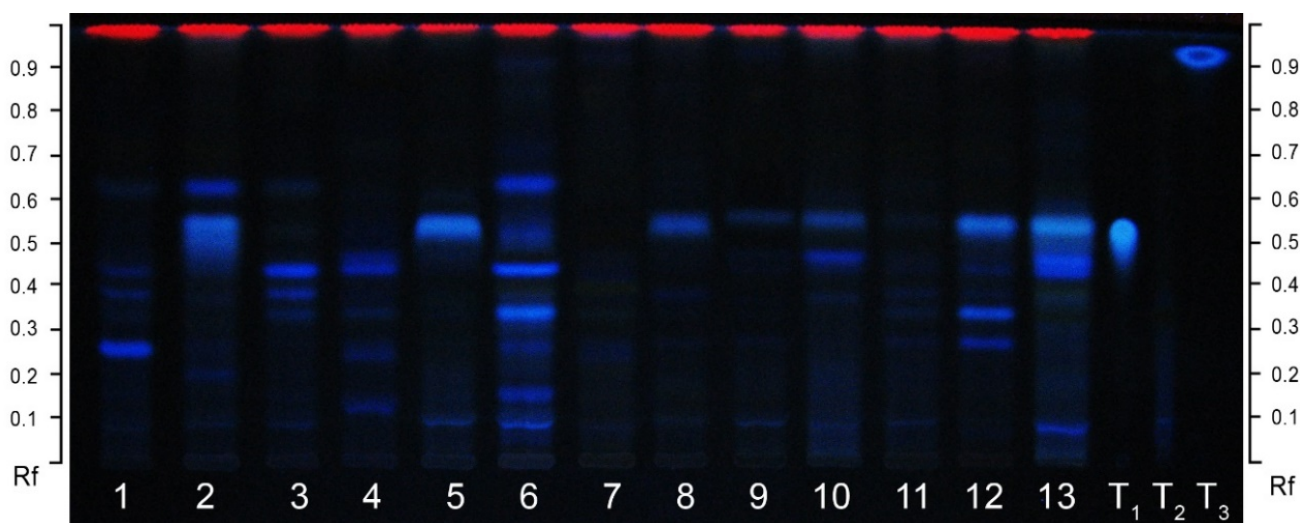


Рис. 2. Хроматограма фенольних сполук у листках рослин роду *Acer*:

1 – *A. tataricum*, 2 – *A. pseudoplatanus*, 3 – *A. campestre*, 4 – *A. platanoides*,
5 – *A. pseudosieboldianum*, 6 – *A. ukurunduense*, 7 – *A. mandshuricum*, 8 – *A. barbinerve*,
9 – *A. negundo*, 10 – *A. heldreichii*, 11 – *A. monspessulanum*, 12 – *A. laetum*,
13 – *A. saccharinum*; T₁ – хлорогенова кислота, T₂ – рутин, T₃ – кавова кислота

Серед фенолкарбонових кислот у листках 9 видів роду *Acer* виявлена кавова кислота. Одночасно в листках визначена відносно значна кількість її кон'югата – хлорогенової кислоти (ХК), яка має високий антиоксидантний потенціал. За показниками вмісту ХК досліджені рослини суттєво вирізняються. Так, значна кількість хлорогенової кислоти міститься в листках *Acer saccharinum*. Для цього виду характерним також є висока концентрація флавонолів з коефіцієнтами рухомості (Rf) ~ 0,48 і ~ 0,53. Ці флавоноли виявлено також в інших видів (*Acer heldreichii* та *Acer mandshuricum*). За результатами фотоденситометричного аналізу за кількістю ХК з 13 досліджених нами видів кленів нами виділено чотири групи: види з мінорною (0,01 - 0,05 мг/мл) кількістю ХК, з низькою (0,06 - 0,50 мг/мл), з середньою (0,51 - 1,50 мг/мл) і високою (1,51 - 2,00 мг/мл) (рис. 3).

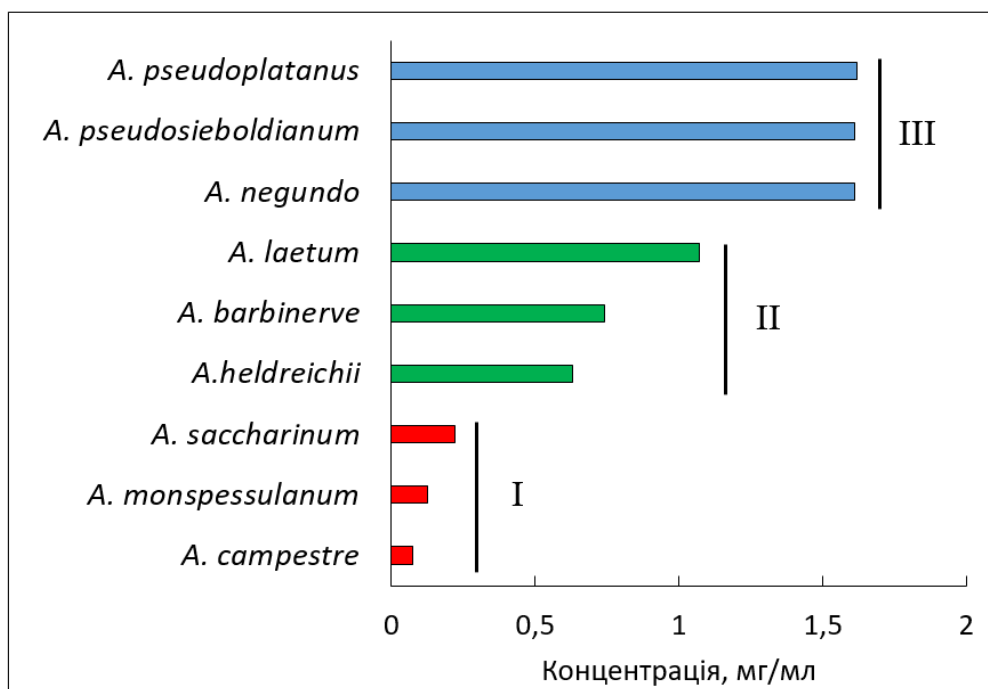


Рис. 3. Розподіл рослин роду *Асер* за вмістом хлорогенової кислоти в листках

За отриманими біохімічними профілями досліджених рослин *Acer* визначена спорідненість видів, яка в основному збігається із сучасним поділом цього роду на секції (рис. 4). Варто зазначити, що рослини з найвищим умістом ХК (*Acer negundo*, *Acer pseudosieboldianum*, *Acer pseudoplatanus*) характеризуються достатньо високим адаптивним потенціалом.

Рослини *Acer laetum* (II група) і *Acer monspessulanum* (I група) недостатньо стійкі до низьких температур та іноді підмерзають у ботанічних садах м. Києва. До I групи також увійшли рослини з повільним ростом (*Acer campestre*, *Acer saccharinum*), що може свідчити про активну роль ХК у процесах росту клітин тих чи інших тканини та лігніфікації клітинних оболонок клітин вторинної деревини (ксилеми), яка пов'язана зі стійкістю рослин до несприятливих погодних умов. За результатами кластерного аналізу фітохімічних профілів рослин серед 13 видів *Acer* виділено два великих кластери. Перший включає 5 видів з трьох секцій *Microcarpa*, *Trilobata* і *Platanioidea*. Другий кластер об'єднав решту досліджуваних нами видів, які представляють сім груп. Цікавим є те, що вид *Acer campestre*, який відноситься до секції *Platanioidea*, за

наявними феноми має тісний зв'язок з *Acer tataricum* (секція *Trilobata*) (підкластер Ia).

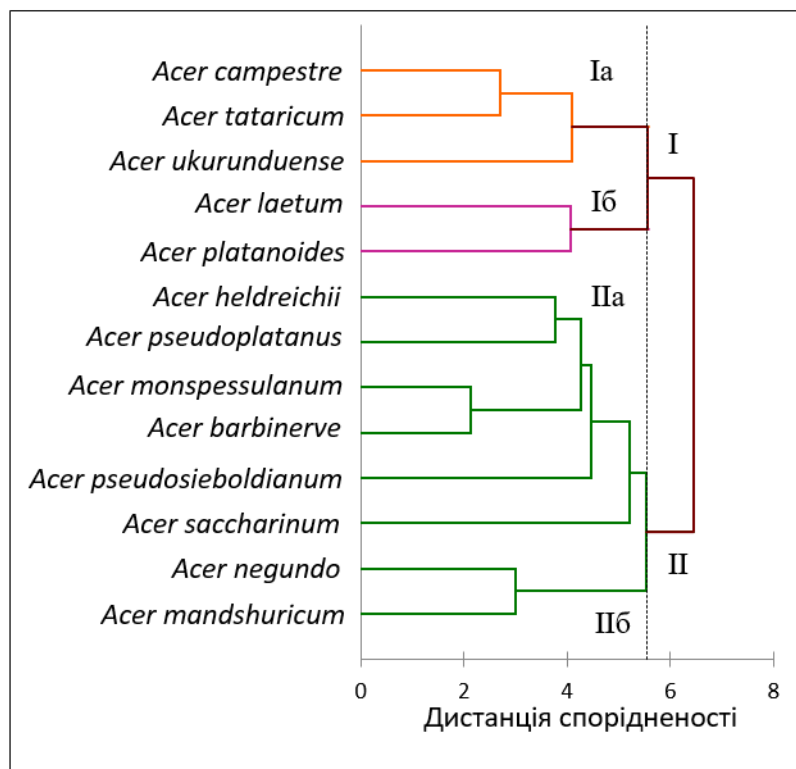


Рис. 4. Дендрограма спорідненості видів *Acer* за складом фенольних сполук у листках

Види *Acer platanoides* і *Acer laetum* (секція *Platanioidea*) об'єдналися у підкластер Ia. Ці види здатні утворювати гібриди, які за морфологічними ознаками мало вирізняються від *Acer platanoides* (Sokolov et al., 1958).

Окрім фенолкарбонових кислот і кумаринів у листках рослин роду *Acer* також було виявлено 16 флавоноїдів. Серед видів з широким спектром сполук цього класу виділяються *Acer heldreichii* (представник Балканської флори), *Acer monspessulanum* (природний ареал – Середземномор'я), *Acer mandshuricum*. Установлено, що флавонол рутин (кверцетин-3-О-рутинозид) містять 11 видів з 13 досліджених. Значна кількість рутину виявлена у *Acer saccharinum*, *Acer heldreichii* і *Acer mandshuricum* (рис. 5). Цей флавонол має достатньо високий антиоксидантний потенціал і є досить поширеним серед вищих квіткових рослин, утім у листках *Acer campestre* і *Acer laetum* його не було зовсім або містився в міnorних кількостях.

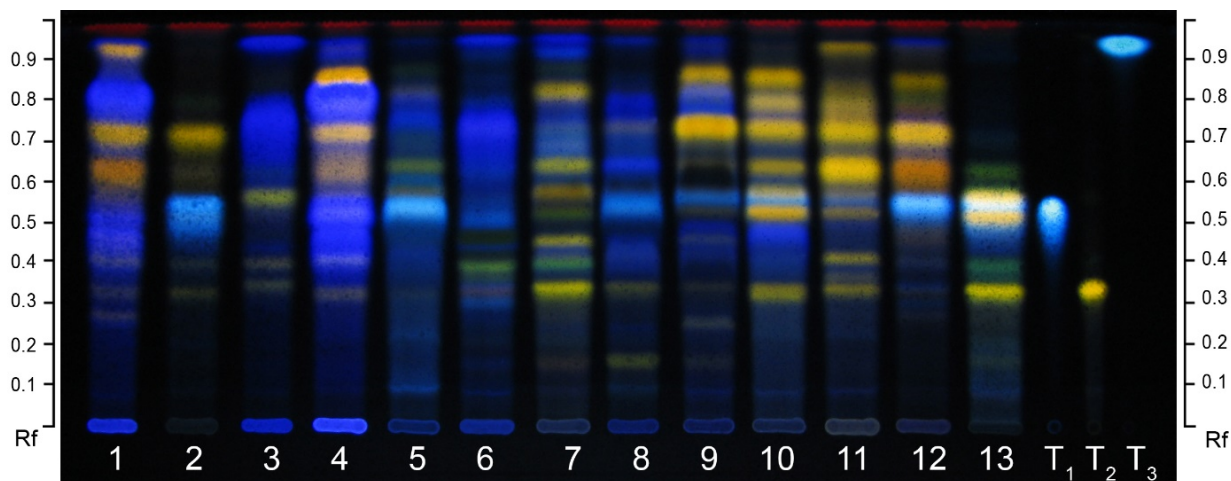


Рис. 5. Хроматограма кумаринів, фенолкарбонових кислот і флавоноїдів у листках рослин роду *Acer*:

1 – *A. tataricum*, 2 – *A. pseudoplatanus*, 3 – *A. campestre*, 4 – *A. platanoides*, 5 – *A. pseudosieboldianum*, 6 – *A. ukurunduense*, 7 – *A. mandshuricum*, 8 – *A. barbinerve*, 9 – *A. negundo*, 10 – *A. heldreichii*, 11 – *A. monspessulanum*, 12 – *A. laetum*, 13 – *A. saccharinum*; T₁ – хлорогенова кислота, T₂ – рутин, T₃ – кавава кислота; обробка хроматограми 0,5% NP реагентом і 1% ПЕГ 400 з наступним нагріванням (5 хв за температури 105°C); візуалізація – УФ (365 нм)

У фітохімічному профілі *Acer ukurunduense* нами виявлено флавоноїд з $R_f \sim 0,38$, який також був виявлений у листках *Acer campestre*, *Acer pseudoplatanus* та *Acer saccharinum*. Привертає увагу, що ця група видів (*Acer ukurunduense*, *Acer campestre* і *Acer saccharinum*) вирізняється виключно високою тіньовитривалістю. Останній поступається в цьому лише *Fagus sylvatica* L. Рослини *Acer campestre* характеризуються відносною посухостійкістю.

Наявність взаємозв'язку між якісним складом ВМ, екологічною валентністю і стійкістю рослин до стресових умов підтвердив також аналіз головних компонент (ГК) (рис. 6).

Види *Acer saccharinum* і *Acer campestre* відомі як рослини з повільним ростом, проте останній має здатність до швидкого відновлення після обрізки (Sokolov et al., 1958). Водночас види (*Acer monspessulanum*, *Acer mandshuricum*, *Acer heldreichii*) з широким спектром флавоноїдів, зокрема флавонолів не достатньо стійкі до низьких температур.

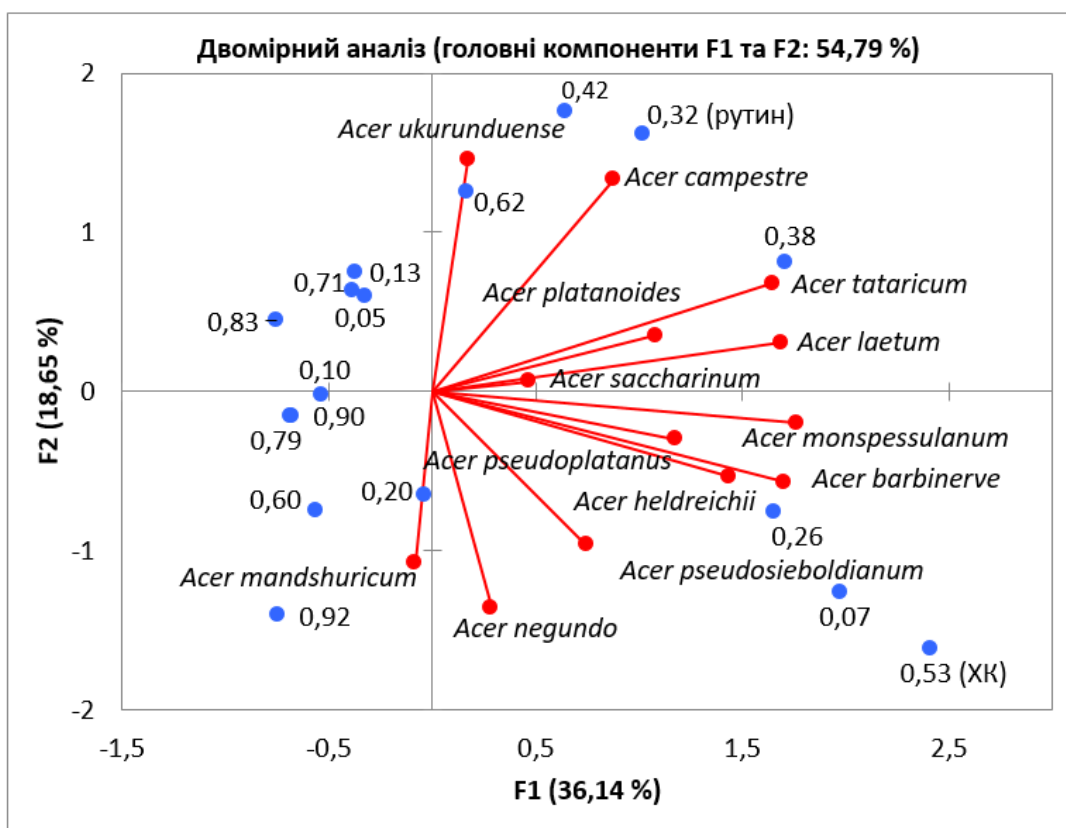


Рис. 6. Двовимірний аналіз рослин роду *Acer* за фітохімічними профілями фенольних сполук методом головних компонент

Накопичення в рослинних тканинах флавоноїдів часто є реакцією листків на інтенсивне УФ-випромінювання (Tegelberg et al. 2001). У той же час концентрація флавоноїдів у кроні розподілена відносно рівномірно. З цього випливає, що їхній синтез є менш залежним від таких абіотичних чинників як освітленість і вологість. Вони більшою мірою пов'язані з внутрішньоклітинними і тканинними процесами, функціонуванням транспортних білків (Brown, 2001), а також здатністю впливати на стан клітинних мембран через інтегрування у фосфоліпідні шари, і змінювання їхньої проникності для іонів. Оскільки флавоноїди підтримують рівновагу клітинної системи, а в разі її пошкодження залучаються до репарації клітинних компартментів, цілком логічним є те, що флавоноїдний профіль листків є досить консервативним. Проте в аспекті адаптації рослин до лабільних умов середовища ця група речовин виявиться менш чутливою. З огляду на поліфункціональність флавоноїдів і широкий спектр взаємодій з

внутрішньоклітинними структурами і біомолекулами, фізіологічними функціями, які вони виконують у рослинному організмі (Buer, 2010), для багатьох видів їх можна розглядати як фактор внутрішньоклітинної клітинної стабільності. Катехіни, а також гідролізовані і конденсовані таніни в значній мірі є захисними фенолами, які завдяки вираженим антиоксидантним властивостям і здатністю поглинати УФ промені забезпечують стабільність роботи фотосистем в умовах інтенсивної інсоляції. Це і пояснює підвищений уміст цього класу речовин у верхніх частинах крони.

Отже, кластеризація рослин роду *Acer* на основі виділених нами комплексів біохімічних ознак (фенів) збігається з екологічною валентністю рослин і системою класифікації видів за принципами класичного морфологічного підходу, а також за результатами порівняльного аналізу пластидного геному. Водночас, оскільки існує ймовірність цитонуклеарної невідповідності рослин (Corriveau, Coleman, 1988), для вирішення складних філогенетичних проблем із систематики рослин роду *Acer* очевидною є необхідність проведення повногеномного секвенування ядерного ДНК.

Висновки і перспективи. Результати фітохімічного дослідження рослин роду *Acer* збігається з даними, що отримані під час аналізу цих видів в інших умовах місцезростання. Це дає підстави розглядати фітохімічні маркери (індивідуальні і в комплексі) в якості інформативних фенів для реконструкції філогенетичних зв'язків між відповідними видами роду *Acer*, а також використовувати їх для виявлення гібридних форм, що спонтанно виникають у міських насадженнях з можливістю оцінки інвазійного потенціалу індивідуальних хемотипів і гібридних форм, і подальшим прогнозуванням їхніх адаптивних резервів у межах природних популяцій.

Список літератури

- Zaprometov M.N. (1993) Fenolnye soedineniya. Rasprostranenie, metabolism i funkciya v rasteniyakh. – M.: Nauka, 272 s. [in Russian]
- Likhanov A.F. Pentelyuk O.S., Grigoryuk I.P., Illyenko O.O. (2016) Variativnist skladu vtorinnikh metabolitiv kori odnorichnikh pagoniv roslin rodu *Aesculus* L. Introdukciya roslin. N 3. – S. 102–109. [in Ukrainian]

Palchikovska L.G., Vasilchenko O.V., Platonov M.O., Starosila D.B., Porva Yu.I., Rimar S.Yu., Atamanyuk V.P., Samijlenko S.P., Ribalko S.L. (2013) Antiviralni vlastivosti roslinnikh flavonoidiv – Inhibitoriv sintezu DNK i RNK// Biopolymers and Cell. Vol. 29, N 2.– C. 150-156. [in Ukrainian]

Semenov A.A. (2000) Ocherk khimii prirodnykh soedinenij. – Novosibirsk: Nauka. Sib. izd. firma, 664 s. [in Russian]

Derevyia i kustarniki SSSR. Pod red. S.Ya. Sokolova, Izd. Akad. Nauk SSSR. – M.-L. – 1958. – T.4. – S. 405-499. [in Russian]

Kharborn D. (1985) Vvedenie v ekologicheskuyu biokhimiю. – M.: Mir, 312 s. [in Russian]

Boulter M.C., Benfield J.N., Fisher H.C., Gee D.A., Lhotak M. (1996) The evolution and global migration of the Aceraceae. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences Vol.351. – P. 589–603.

Brown D.E., Rashotte A.M., Murphy A.S., Normanly J., Tague B.W., Peer W A., Taiz L., Muday G.K. (2001) Flavonoids act as negative regulators of auxin transport *in vivo* in Arabidopsis // Plant Physiol. 26(2). – P. 924–535. doi: 10.1104/pp.126.2.524

Buer C.S., Imin N., Djordjevic M.A. (2010) Flavonoids: new roles for old molecules. Journal of Integrative Plant Biology. V.52 (1). – P. 98–111. doi:10.1111/j.1744-7909.2010.00905.x

Cheynier V., Comte G., Davies K.M., Lattanzio V., Martens S. (2013) Plant phenolics: Recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology Plant Physiology and Biochemistry. Vol. 72. – P. 1-20. doi:10.1016/j.plaphy.2013.05.009

Corriveau J.L., Coleman A.W. (1988) Rapid screening method to detect potential biparental inheritance of plastid DNA and results for over 200 angiosperm species. American Journal of Botany 75: P.1443-1458. doi: 10.2307/2444695

Cushnie T.P., Lamb A.J. (2005) Antimicrobial activity of flavonoids // Int J Antimicrob Agents. 26 (5). – P. 343-356. doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2005.09.002

de Jong P.C. (2004) World maple diversity. In: Wiegrefe S.J., Angus H., Otis D., Gregory P. eds. International Maple Symposium, Westonbirt Arboretum and Royal Agricultural College in Gloucestershire, England, Gloucestershire: Westonbirt Arboretum. P. 2–11.

Likhanov A.F. Identification of intervarietal affinity of *Rubus idaeus* L. plants on biochemical profiles of phenolic compounds (2014) Reports of NULES of Ukraine. № 7. – C.12. http://nd.nubip.edu.ua/2014_7/9.pdf

Lin H.Y., Hao Y.J., Li J.H., Fu C.X., Soltis P.S., Soltis D.E., Zhao Y.P. (2019) Phylogenomic conflict resulting from ancient introgression following species diversification in *Stewartia*. Molecular Phylogenetics and Evolution 135: 1–11. doi.org/10.1016/j.ympev.2019.02.018

Modliszewski J.L., Thomas D.T., Fan C., Crawford D.J., Pamphilis C.W., Xiang Q.Y. (2006) Ancestral chloroplast polymorphism and historical secondary contact in a broad hybrid zone of *Aesculus* (*Sapindaceae*) Americ. J. Bot. 93(3). – P. 377-388. doi: 10.3732/ajb.93.3.377

Renner S.S., Grimm G.W., Schneeweiss G.M., Stuessy T.F., Ricklefs R.E. (2008). Rooting and dating maples (*Acer*) with an uncorrelated rates molecular clock:

Implications for North American/Asian disjunctions. Systematic Biology Vol. 57. – P. 795–808. doi: 10.1080/10635150802422282

Seigler D.S., Price P.W. (1976) Secondary compounds in plants: primary functions. Am. Nat. Vol.110. – P.101-105.

Tegelberg R., Julkunen-Tiitto R., Aphalo P.J. (2001) The effects of long-term elevated UV-B on the growth and phenolics of field-grown silver birch (*Betula pendula*). Glob. Chang. Biol. Vol.7 – P. 839-848. doi: 10.1046/j.1354-1013.2001.00453.x

Umadevi I., Daniel M. (2008) Chemosystematics of the Sapindaceae. Feddes Repertorium. Vol.102 (7-8). – P. 607–612. doi:10.1002/fedr.19911020711

Wink M. (2003) Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. Phytochemistry. Vol.64(1). – P. 3-19. doi:10.1016/s0031-9422(03)00300-5

Wolfe J.A., Tanai T. (1987) Systematics, phylogeny, and distribution of Acer (maples) in the Cenozoic of western North America. Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University, Series IV 22: 1–246.

Zhang Z., Li C., Li J. (2010) Conflicting phylogenies of section Macrantha (*Acer* Aceroideae, Sapindaceae) based on chloroplast and nuclear DNA. Systematic Botany 35: 801–810. doi.org/10.1600/036364410X539871

ФИТОХИМИЧЕСКИЙ ПОЛИМОРФИЗМ РАСТЕНИЙ РОДА ACER L. В УСЛОВИЯХ ПРАВОБЕРЕЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ УКРАИНЫ

А. Ф. Лиханов, М. А. Шевчук, М. Ю. Дубчак

В работе методом ВЭТСХ (на пластинках силикагель G60 (Merck) в системе: этилметилкетон - этилацетат - метанол - вода (v / v / v / v – 30 : 20 : 5 : 5) исследован качественный состав вторичных метаболитов 13 видов растений девяти секций рода *Acer* из коллекционного фонда Национального ботанического сада им. Н.Н. Гришко НАН Украины. В результате фитохимического профилирования метанольных экстрактов листьев выявлено 19 индивидуальных соединений, относящихся к классу фенолкарбоновых кислот, их конъюгатов и кумаринов. Наибольшее количество фенолов (11 соединений) выявлено у растений *Acer ukraiunduense*. По 6 индивидуальных соединений обнаружено в *Acer platanoides* и *Acer laetum* секции *Platanioidea*. Среди фенолкарбоновых кислот в листьях 9 видов рода *Acer* обнаружено кофейную (3,4-диоксикоричную) кислоту. По содержанию ее конъюгата - хлорогеновой кислоты виды исследованных растений были нами разделены на 4 группы: виды с минорным (0,01 - 0,05 мг / мл), низким (0,06-0,50 мг / мл), средним (0,51-1,50 мг / мл) и высоким (1,51- 2,00 мг / мл) содержанием хлорогеновой кислоты.

В листьях растений рода *Acer* также выявлено 16 флавоноидов. Среди видов с широким спектром флавоноидов выделено: *Acer heldreichii* (представитель Балканской флоры), *Acer monspessulanum* (природный ареал - Средиземноморье), *Acer mandshuricum* (природный ареал - Дальний Восток). Установлено, что рутин (кверцетин-3-О-рутинозид) содержится в листьях 11

видов рода *Acer* из 13 исследованных. Значительное количество рутина обнаружена в листьях *Acer saccharinum*, *Acer heldreichii* и *Acer mandshuricum*. По полученным биохимическим профилям исследованных растений *Acer* подобие видов, частично совпадает с современным делением рода на секции. Показано, что фитохимические профили растений рода *Acer* являются перспективными для выявления гибридных форм, которые могут спонтанно возникать в городских насаждениях с возможностью оценки их инвазивного потенциала.

Ключевые слова: *Acer*, листья, адаптация, хемофенетика, фенолы, флавоноиды.

PHYTOCHEMICAL POLYMORPHISM OF THE ACER L. GENUS PLANTS IN THE CONDITIONS OF THE RIGHT-BANK FOREST STEPPE OF UKRAINE

A. F. Likhanov, M. O. Shevchuk, M. Yu. Dubchak

The qualitative composition of secondary metabolites of plants was investigated by the method of HPTLC (on plates of silica gel G60 (Merck) in the system: ethyl methyl ketone - ethyl acetate - methanol - water (v / v / v / v - 30: 20: 5: 5)) of 13 species from nine sections of the *Acer* genus from the collection fund of the M.M. Grishko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine. Phytochemical profiling of methanolic leaf extracts revealed 19 individual compounds belonging to the class of phenolic carboxylic acids, their conjugates and coumarins. The highest amount of phenols (11 compounds) was determined for *Acer ukurunduense* plants. 6 individual compounds were found in *Acer platanoides* and *Acer laetum* of the *Platanoidea* section. Among the phenolic acids in the leaves of 9 species of *Acer*, caffeic (3,4-dioxycinnamic) acid was identified. According to the content of its conjugate - chlorogenic acid – species of the studied plants were divided into 4 groups: species with a minor (0.01 - 0.05 mg / ml), with low (0.06-0.50 mg / ml), with medium (0.51-1.50 mg / ml) and high (1.51-2.00 mg / ml) amount of chlorogenic acid.

16 flavonoids were also found in leaves of plants of the *Acer* genus. Among the species with a wide range of flavonoids are: *Acer heldreichii* (representative of the Balkan flora), *Acer monspessulanum* (natural habitat - the Mediterranean), *Acer mandshuricum* (natural habitat - the Far East). Rutin (quercetin-3-O-rutinoside) contains 11 species of *Acer* genus out of 13 studied. A significant amount of rutin was found in *Acer saccharinum*, *Acer heldreichii* and *Acer mandshuricum*. According to the obtained biochemical profiles of the studied *Acer* plants, the affinity of the species was determined, which partially coincides with the modern division of the genus into sections. It is shown that phytochemical profiles of plants of the genus *Acer* are promising for the detection of hybrid forms that can occur spontaneously in urban plantations with the ability to assess their invasive potential.

Key words: *Acer*, leaves, adaptation, introducer, chemophenetics, phenols, flavonoids.