

<https://doi.org/10.15407/frg2024.05.441>

УДК 582.4/9:574.4

БІОЛОГІЧНА АКТИВНІСТЬ ОПАЛИХ ЛИСТКІВ *JUGLANS NIGRA*

О.І. РУДНИК-ІВАЩЕНКО^{1,2}, О.О. БОРЗИХ¹, Л.М. МИХАЛЬСЬКА²,
В.В. ШВАРТАУ²

¹Інститут садівництва Національної академії аграрних наук України
03027 Київ, Новосілки, вул. Садова, 23

²Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17
e-mail: rudnik2015@ukr.net

Горіх чорний (*Juglans nigra* L.) є важливою культурою з широким спектром використання, однією з характерних біологічних особливостей якого є алелопатична активність. Різні органи *J. nigra* містять юглон (5-гідрокси-1,4-нафтохінон) — хімічну сполуку з алелопатичними властивостями. У трирічних дослідженнях встановлено, що кількість фенольних сполук в опалих листках горіха чорного, які можуть мати фітотоксичну дію на рослини, коливалась від 4,93 до 5,44 %. Аналіз дії водних витяжок з опалих листків горіха чорного за допомогою біотестів показав відсутність впливу на проростання насіння пшениці озимої сорту Новосмулянка та невисокий ступінь інгібування кореневої системи її проростків. Водночас водні витяжки з опалих листків горіха чорного знижували схожість та довжину коренів перцю солодкого сорту Велетень до 71—72 % порівняно з контролем. З'ясовано, що у роки досліджень ураження злакового бур'яну метлюгу звичайного (*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv.) альтернативами в екосистемах за наявності горіха чорного було істотно нижчим порівняно з аналогічними рослинами у лісо-смугах із домінуванням дубу звичайного. Отримані результати демонструють перспективність використання природного нафтохінону з опалих листків горіха чорного — юглону — як для створення гербіцидів, так і для захисту рослин від захворювань. На фоні серйозних екологічних загроз, які спричинює широке застосування синтетичних гербіцидів, використання юглону може бути важливою екологічною альтернативою традиційним гербіцидам. Отже, вирощування горіха чорного в Україні є важливим для підвищення екологічної безпеки агрофітоценозів.

Ключові слова: *Juglans nigra* L., *Alternaria* spp, горіх чорний, фенольні сполуки, юглон, фітотоксичність, біотестування.

Juglans nigra L., або горіх чорний — це вид листяних дерев, що походить зі східної частини Північної Америки. У роду *Juglans* налічують 20 видів, які поширені у Північній, Центральній та Південній Америці, Європі й Азії. Горіх чорний є однією з найцінніших швидко-рослих інтродукованих деревних порід. Цей північноамериканський вид завезений до Європи в 1729 р. і з того часу поширений у Німеч-

Цитування: Рудник-Іващенко О.І., Борзих О.О., Михальська Л.М., Швартау В.В. Біологічна активність опалих листків *Juglans nigra*. *Фізіологія рослин і генетика*. 2024. 56, № 5. С. 441—450. <https://doi.org/10.15407/frg2024.05.441>

чині, Франції, Данії, Швеції, Польщі та інших країнах. Нині створено лісові культури цього виду в центральних і західних областях України, культивується він також у Молдові, Литві та Середній Азії [1–3].

Дерева горіха чорного в екосистемах сприяють поглинанню вуглецю, стабілізації ґрунту, забезпеченню середовища існування для диких тварин тощо. Вони також мають істотне економічне значення завдяки цінній деревині та їстівним плодам. Хоча наразі популяції горіха чорного не перебувають під загрозою зникнення, на них можуть впливати втрата середовищ вирощування за невдалих організаційних рішень, низка хвороб та інвазивні види шкідників.

За вмістом біологічно активних речовин — юглону (5-гідрокси-1,4-нафтохінон або 5-гідрокси-1,4-нафталендіон, або 5-гідроксинафтален-1,4-діон) та флавоноїдів він перевершує горіх волоський у 4–5 разів. Навколоплідник незрілих плодів містить вітаміну С більше, ніж чорна смородина, також у його складі є вітаміни А, В, РР, ефірні олії, цукри, хінони, дубильні речовини, елагова й галусова кислоти, нафтохінон, кверцетин, катехін, гіперазид, кемпферол [3, 4]. Такий комплекс рідкісних органічних сполук робить його незамінним у медицині та фармацевтичній промисловості. За обсягом терапевтичного впливу, імунотропних й антиоксидантних властивостей горіх чорний є унікальним видом [4, 5].

Фізіологічні особливості горіха чорного пов'язані з його ростом, розмноженням і адаптацією до навколишнього середовища. Дерева горіха чорного мають глибоку й розгалужену кореневу систему, яка забезпечує доступ до води та поживних речовин з глибоких шарів ґрунту [6]. Ця міцна коренева система також сприяє стійкості дерева, особливо часто на вологих, добре дренованих ґрунтах, на яких вони краще зростають. *J. nigra* є екологічно пластичним видом і відіграє важливу роль у природних екосистемах. Він придатний для створення продукційних, лісомеліоративних, декоративних і рекреаційних насаджень.

Однією з характерних біологічних особливостей горіха чорного є його алелопатична активність. Листки горіха чорного містять юглон — хімічну сполуку з алелопатичними властивостями [7]. Юглон пригнічує ріст певних рослин і мікроорганізмів поблизу дерева, зокрема тих, що беруть участь у процесі розкладу органічної речовини. Алелопатична активність юглону може впливати на рослинні угруповання та лісові/садівничі практики на територіях, де росте чорний горіх. Крім юглону, дерева синтезують інші вторинні метаболіти, які можуть брати участь у захисних механізмах проти трав'ядних тварин і патогенних мікроорганізмів [8].

Хоча високі концентрації юглону можуть бути токсичними для рослин, їх менша кількість в опалих листках може виявитись природною альтернативою для контролю бур'янів [9]. Крім цього, опалі листки забезпечують середовище існування та укриття для різних організмів. Вони створюють мікросередовище, яке підтримує діяльність детритофагів, таких як дощові черв'яки, комахи й мікроорганізми. Останні, своєю чергою, сприяють розщепленню листків і подальшому кругообігу поживних речовин. При розкладанні листків вивільняється вуглекислий газ назад в атмосферу через мікробне дихання. Од-

нак частина цього вуглецю може також іммобілізуватися в ґрунті у формі органічної речовини, сприяючи секвеструванню вуглецю та його накопиченню в ґрунті. Опалі листки допомагають утримувати вологу в ґрунті, діючи як природна мульча, утворюючи шар, який зменшує випаровування й ерозію, покращує структуру ґрунту та сприяє інфільтрації води. Це позитивно впливає на посухостійкість ценозу та родючість ґрунту, підтримуючи ріст рослин.

Важливою проблемою є вивчення біологічних властивостей та показників хімічного складу опалих листків рослин, які в різних природно-кліматичних умовах можуть виділяти у довкілля змінені кількості вторинних метаболітів, часто й з вираженими фітотоксичними властивостями. У готових до опадання листках відбувається накопичення низки сполук вторинного метаболізму, насамперед фенольних похідних як природних інгібіторів, що можуть мати фітотоксичні властивості [4]. Водночас у листках такого стану руйнуються структурні елементи, фотосинтетичні пігменти, білки, в межах рослинного організму відбувається реутилізація азоту та низки макро- й мікроелементів. Розкладанню органічної речовини опалих листків сприяє мікробіологічна активність. Цей процес вивільняє поживні речовини, такі як азот, фосфор і калій, у ґрунт, збагачуючи його й підтримуючи ріст інших рослин.

У сучасній літературі захисну роль юглону пов'язують із кількома механізмами дії. Зокрема, показано інсектицидний [10] та акарицидний [11] ефекти юглону. Крім цього, як хімічна сполука з алелопатичними властивостями, він пригнічує ріст певних рослин і мікроорганізмів поблизу дерева, в тому числі тих, що беруть участь у процесі розкладу органічної речовини. Ця алелопатична дія може впливати на склад мікробіологічного ценозу і швидкість розкладання листків. Деякі ґрунтові мікроорганізми, які беруть участь у процесі розкладання, можуть бути чутливими до юглону, потенційно змінюючи доступність поживних речовин або мікробну взаємодію, що опосередковано впливає на ріст бур'янів. Опалі листки діють як природна мульча, покриваючи поверхню ґрунту і зменшуючи доступність світла для насіння бур'янів. Цей фізичний бар'єр перешкоджає проростанню та укоріненню насіння бур'янів, особливо на ділянках, де шар листового опадку товстий і щільний. До того ж, розкладаючись, листки горіха чорного вивільняють поживні речовини в ґрунт завдяки мікробіологічній активності, що потенційно може впливати на видовий склад бур'янів в екосистемі [11]. Алелопатичний вплив листків горіха чорного на бур'яни може мати значення щодо дії на рослини під деревами горіха та поблизу них без необхідності застосування додаткових гербіцидів. Отже, опалі листки *J. nigra* відіграють певну роль у пригніченні росту бур'янів через алелопатію, мульчувальний ефект і кругообіг поживних речовин, сприяючи контролю рослинності в природних середовищах існування. Тому біологічна активність рослинних решток *J. nigra*, зокрема, здатність формувати в опалих листках алелопатично активні речовини, зумовлює можливість їх використання у сільському господарстві.

Проте, хоча *J. nigra* позитивно впливає на екосистеми з деревними видами, алелопатичні кореневі виділення можуть створювати

проблеми для вирощування сільськогосподарських культур на прилеглих до посадок полях. Ефективні стратегії управління та розуміння механізмів і селективності алелопатії мають важливе значення для мінімізації негативного впливу й підвищення продуктивності сільськогосподарських культур на територіях, де співіснують дерева горіха чорного з основними сільськогосподарськими культурами, наприклад пшеницею тощо.

Метою роботи було оцінити біологічну активність метаболітів горіха чорного (*J. nigra* L.) аналізом впливу водних екстрактів опалих листків на проростки одно- та дводольних рослин і на ступінь ураження злакових бур'янів *Alternaria* spp.

Методика

Об'єктом дослідження слугували опалі листки горіха чорного з колекції Інституту садівництва НААН України. Зразки опалих листків відбирали в першій-другій декадах вересня 2021—2023 рр.

У лабораторних дослідженнях з вивчення властивостей опалих листків проводили визначення вмісту золи методом сухого озолення, кальцію в золі — трилонометричним методом. Визначення вмісту загального азоту проводили за К'ельдалем, клітковини за окиснювального руйнування речовин клітин окрім клітковини водорозчинних фенольних сполук — колориметрично [12]. Крім того, оцінювали алелопатичну активність водних витяжок опалих листків за допомогою біотестів (визначення рівнів інгібування проростання насіння й розвитку кореневої системи проростків пшениці озимої сорту Новосмуглянка та перцю солодкого сорту Велетень).

Для оцінки алелопатичної активності 10 г сухих листків занурювали у 100 мл води першого класу (18 МОм), яку отримували за допомогою системи очищення води Scholar-UV NexUp 1000 (Human Corporation, Республіка Корея), гомогенізували й екстрагували упродовж 24 год за 23 °С, періодично перемішуючи. Екстракт центрифугували за 3 000 об/хв і відфільтровували надосадову рідину крізь 0,45 мкм фільтр. У чашки Петрі вносили по 5 мл досліджуваних розчинів, і на фільтрувальний папір із вертикальною складкою по діаметру висівали насіння пшениці озимої та відкаліброване (фракція 3,5—4,0 мм) насіння перцю солодкого. Чашки розміщували в термостаті при 26 °С за асептичних умов. Проросле насіння підраховували через дві доби, відмінності у розвитку коренів проростків — через 4 доби. Повторність — шестиразова, в одній повторності 100 насінин. Контроль — дистильована вода, повторність дослідів дворазова [13]. Детектування наявності *Alternaria* spp. проводили за прописом СІММУТ [14].

Результати опрацьовано статистично з використанням програми Microsoft Excel 2019 з StatPlus від AnalystSoft Inc. Version v.7 (<https://www.analystsoft.com/en/>).

Результати та обговорення

Вміст целюлози (клітковини) в опалих листках у горіха коливався від 16,95 до 18,24 % (табл. 1). Вміст золи в опалих листках горіха чорно-

БІОЛОГІЧНА АКТИВНІСТЬ ОПАЛИХ ЛИСТКІВ

ТАБЛИЦЯ 1. Показники хімічного складу опалих листків рослин горіха чорного (*Juglans nigra* L.)

Показник	Роки проведення досліджень		
	2021	2022	2023
Вологість, %	7,2 ^a	6,9 ^b	7,2 ^a
Клітковина, %	18,24 ^a	16,95 ^b	18,09 ^a
Зола, %	5,97 ^a	5,60 ^b	5,84 ^a
Кальцій, %	2,78 ^a	2,71 ^a	2,82 ^a
Загальний азот, %	0,79 ^a	0,76 ^a	0,83 ^a
Феноли, мг/г	5,44 ^a	4,93 ^b	5,41 ^a
Температура підстилаючої поверхні, °C / вологість повітря, %*	34,7 / 60,0	33,1 / 56,0	36,2 / 61,0

Примітка. * — у період відбору зразків; середні значення показника, позначені однаковими літерами, неістотно різняться в кожен з досліджуваних років, за $p \leq 0,01$.

го становив від 5,60 до 5,97 %. Неістотно за роками змінювався вміст кальцію в дослідних пробах листків — від 2,71 до 2,82 %. Кальцій в опалих листках може міститися у формі солей органічних кислот, зокрема оксалатів, накопичення яких відбувається в старіючих тканинах.

Незначним виявився вміст азоту в опалих листках — в межах 0,76—0,83 %. Це, імовірно, зумовлене тим, що в процесі старіння листків значна частка азотовмісних сполук у водорозчинних формах вже була використана у процесах реутилізації азоту.

Вміст фенолів в опалих листках горіха чорного коливався від 4,93 до 5,44 %, тобто вміст водорозчинних фенольних сполук у зразках за роками був досить стабільний (табл. 1). Відомо, що алелопатична активність горіху чорного пов'язана із активним синтезом і вивільненням у навколишнє середовище численних фенольних сполук. Найвідомішим і дослідженим є юглон, який має певну фітотоксичну дію. Відомі численні види рослин, толерантні до дії юглону, наприклад, деревій, види анемони, айстрові, види соняшнику, широко розповсюджений в останнє десятиріччя у лісосмугах та узбіччях доріг України золотарник, види фіалки тощо. Також толерантними до юглону є численні злакові види: *Andropogon gerardii*, *Bouteloua curtipendula*, *Elymus* spp., *Panicum* spp. тощо [9]. Водночас, юглон фітотоксичний для яблуні, вільхи, бузку, перцю, баклажанів, томатів тощо. Встановлено, що юглон інгібує низку ферментів рослин, а також процеси дихання й фотосинтезу в таких культурах, як кукурудза та соя [5, 6, 15]. Проте юглон потенційно можна розглядати як перспективну сполуку для безпосереднього використання в системах органічного землеробства, або для синтезу на його основі сполук, які тотожні похідним кореневих виділень горіха чорного, для цілеспрямованої регуляції в екологічно безпечних агрофітоценозах [9, 13, 16].

Оскільки фенольні сполуки здатні негативно впливати на конкурентні відносини між видами в змішаних насадженнях, нами було оцінено активність фенольних сполук з листків горіху чорного щодо розвитку сходів пшениці озимої та перцю солодкого. Встановлено відсутність інгібувальної активності водних витяжок з опалих листків на схожість насіння злакового виду, тоді як для дводольного виду

спостерігали помірне інгібування (табл. 2). Виявлено також, що розвиток кореневої системи проростків пшениці озимої за впливу екстракту з опалих листків слабо інгібувався, на відміну від вираженого інгібування розвитку кореневої системи проростків перцю солодко-го. Таким чином, в екстракті з опалих листків горіха чорного містяться біологічно активні речовини, які чинять алелопатичний вплив.

Ще одним важливим аспектом використання опалих листків горіха чорного є можливість змінювати чутливість до хвороб завдяки хімічному складу виділень та особливостям взаємодії з ґрунтовими мікроорганізмами [13, 16]. Наявність юглону може пригнічувати ріст і активність деяких ґрунтових патогенів завдяки його впливу на мікробні спільноти, що, відповідно, потенційно може зменшувати частоту та шкодочинність захворювань, спричинених патогенами, такими як гриби та бактерії. Проте юглон також може впливати на корисні ґрунтові мікроорганізми, які відіграють важливу роль в інгібуванні розвитку шкодочинних хвороб культурних рослин. Самі опалі листки також можуть містити патогенні мікроорганізми, що викликають хвороби.

Відомо, що останнім часом фітосанітарна ситуація в агрофітоценозах, особливо в Центральній частині й на Півночі України, погіршилася, а збитки від хвороб зросли (<https://merg.gov.ua/>). Серед найшкодочинніших збудників хвороб є ураження посівів культурних рослин сапротрофами, серед яких найпоширеніші збудники фузаріозів та альтернаріозів. Так, в умовах польових дослідів протягом вегетаційних сезонів 2015—2018 рр. виявлено значне поширення *Fusarium* та *Alternaria* spp. в Україні [12]. Встановлено, що основними джерелами кореневих гнилей у більшості регіонів України є *F. tricinctum*, *F. graminearum*, *F. poae* та *F. avenaceum*. Загалом по країні домінуючими видами в зразках зерна були *F. tricinctum* і *F. graminearum* (понад 20—25 %), наявність у зерні *F. poae* та *F. sporotrichioides* була дещо нижчою (15—20 %) [12].

Проте в умовах виробництва масштабних епіфітотій фузаріозів не спостерігаємо. Результати аналізу цих родів показали антагоністичну взаємодію між ними. В умовах лабораторних дослідів за одночасного вирощування *Fusarium* spp. та *Alternaria* spp. спостерігали виразне домінування видів *Alternaria*, що призводило до інгібування

ТАБЛИЦЯ 2. Алелопатична активність фенольних сполук опалих листків рослин горіха чорного (*Juglans nigra* L.) щодо розвитку сходів пшениці озимої та перцю солодко-го

Варіанти	Проростання насіння, %		Інгібування розвитку кореневої системи проростків, %	
	пшениця	перець	пшениця	перець
Контроль	100 ^a	85 ^a	100 ^a	100 ^a
Екстракт з опалих листків	100 ^a	71 ^b	92 ^b	72 ^b
% відміни від контролю у біотесті	не встановлено		—8	—28

Примітка. Тут й у табл. 3, відмінності між варіантами визначали у тесті Тьюкі (Tukey HSD) на рівні значущості $p = 0,01$. Середні значення показника, позначені однаковими літерами, свідчать про невірогідну різницю за $p \leq 0,01$.

збудників фузаріозу [17, 18]. Виявлено антагоністичний взаємовплив продуцентів мікотоксинів видів *Alternaria* та *Fusarium*: первинна інокуляція штамом *Alternaria tenuissima* At625 зменшила кількість усіх фузаріозних токсинів і зупинила утворення *Pseudomonas simiae* Ps9 [19].

Можливо, саме за такої негативної взаємодії у вегетаційному сезоні 2018 р., під час майже безперервних теплих дощів у «зерновому поясі» України протягом генеративного періоду розвитку пшениці, зерно було інфіковане переважно *Alternaria* spp. за помірної наявності видів *Fusarium*. Ці закономірності у взаємодії *Alternaria* та *Fusarium* spp. доцільно враховувати при розробці систем контролю збудників фузаріозу [17]. Відсутність контамінації зерна мікотоксинами видів *Fusarium* не знижує рівня небезпеки для посівів, яку становить імовірне підвищення рівнів наявності мікотоксинів *Alternaria* — альтернаріолу, монометилового ефіру альтернаріолу, тенуазонієвої кислоти тощо.

Нами у 2018 р. було відзначено повне ураження хворобою рослин метлюгу звичайного, які росли у вітрозахисних посадках між полями пшениці, за масштабного ураження посівів зернових колосових культур *Alternaria* spp. (табл. 3). Подальші спостереження показали, що у 2021—2023 рр. ступені ураження злакових видів (як зернових колосових культур, так і бур'янів) були істотно нижчими: ураження видами *Alternaria* не перевищувало 25—35 %. Водночас у посадках, де домінував горіх чорний, ураження альтернаріозами практично не спостерігали: рівень ураження метлюгу звичайного в окремі роки не перевищував 5—12 % (табл. 3).

Таким чином, створення агрофітоценозів з вирощуванням горіха чорного у лісосмугах чи в посадках може впливати як на зміни забур'яненості фітоценозів без інгібування розвитку цільових сільськогосподарських культур, так й істотно зменшувати рівень інфікування мікробіологічних ценозів численними сапротрофами — продуцентами мікотоксинів, *Alternaria* spp. тощо. Зазначимо, що в кінці вегетації зернових колосових культур ефективний контроль *Alternaria*, *Fusarium* ускладнений за відсутності можливості використання селективних проти збудників хвороб рослин фунгіцидів.

Наприкінці 1970-х — початку 1980-х рр. у спільному проєкті Інституту органічної хімії НАН України та відділу фізіології дії гербіцидів Інституту фізіології рослин і генетики НАН України досліджували механізми метаболізації та особливості прояву фітотоксичності у новітніх на той час похідних динітроанілінів — трефлану тощо. Під час виконання проєкту вперше показано, що антимітотична актив-

ТАБЛИЦЯ 3. Ураження рослин (%) метлюгу звичайного (*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv) *Alternaria* spp. у період завершення вегетації злаків у лісосмугах Київської області з домінуванням різних видів дерев

Варіанти	Роки дослідження			
	2018	2021	2022	2023
У лісосмузі з домінуванням дерев дуба звичайного (<i>Quercus robur</i> L.)	100 ^a	32 ^b	25 ^b	35 ^b
Поряд із деревами горіха чорного (<i>Juglans nigra</i> L.)	дані відсутні	10 ^b	12 ^b	5 ^b

ність похідних динітроанілінів визначає рівень фітотоксичності гербіцидів даного класу в польових умовах; доцільно в якості стандарту антимітотичної активності використовувати таксол. Істотним недоліком гербіцидів класу динітроанілінів є вузьке вікно прояву фітотоксичної активності, фактично лише від ВВСН 0 до ВВСН 3—12 у рослин бур'янів. З огляду на це в сучасному рослинництві гербіциди з механізмом дії інгібіторів мітотичного циклу мають обмежене значення у контролі бур'янів — моновикористання проводять переважно на рисових полях на резистентному рисі [20] за АЛС-резистентності. На богарі динітроаніліни використовують лише в деяких композиціях, наприклад пендиметалін у легато тріо чи у подвійних композиціях з інгібіторами фотосинтезу тощо. Тому використання юглону або нових синтезованих на його основі похідних з вираженою антимітотичною активністю і, що значуще, з подовженим періодом антимітотичної активності може бути перспективним для створення нових екологічно безпечних систем контролювання бур'янів, що особливо актуально у часи широко розповсюдженої у виробництві резистентності біотипів бур'янів до дії гербіцидів інгібіторів ацетолактатсинтази [21, 22].

Таким чином, встановлено, що кількість фенольних сполук в опалих листках горіха чорного, які можуть мати фітотоксичну дію на рослини, коливається від 4,93 до 5,44 %. У лабораторних дослідженнях показано, що водні витяжки з опалих листків горіха чорного не інгібували схожість насіння пшениці озимої й дещо знижували схожість перцю солодкого. Виявлено, що екстракт опалих листків *J. nigra* сильніше інгібував розвиток кореневої системи проростків дводольного виду, ніж однодольного. Значний інгібувальний вплив на довжину коренів може свідчити про перспективність використання природного нафтохінону з опалих листків горіха чорного — юглону — для створення гербіцидів, і навіть як екологічної альтернативи звичайним гербіцидам.

З'ясовано, що в роки досліджень ураження злакового бур'яну метлюгу звичайного альтернативами в екосистемах за наявності горіха чорного було істотно нижчим порівняно з аналогічними рослинами у лісосмугах із домінуванням дуба звичайного. Здатність горіха чорного пригнічувати ріст і активність патогенів, зокрема *Alternaria* spp., тобто змінювати чутливість до хвороб, завдяки хімічному складу виділень та особливостям взаємодії з ґрунтовими мікроорганізмами, також свідчить про його захисний ефект проти захворювань.

Отже, вирощування горіха чорного в екосистемах Центральної частини та інших регіонах України може бути важливим для підвищення екологічної безпеки штучних ценозів за відсутності негативного впливу алелопатичних виділень культури на цільові сільськогосподарські види рослин. Подальші дослідження юглону, який чинить кілька біологічних ефектів, а саме: антимікробні, протигрибні, окиснювальні й, особливо, антипроліферативні важливе для створення нових екологічно безпечних фізіологічно активних сполук, серед них і нових гербіцидів із, вірогідно, подовженою антимітотичною активністю, що актуальне за широкого розповсюдження у рослинництві України біотипів бур'янів, резистентних до гербіцидів інгібіторів ацетолактатсинтази.

REFERENCES

1. Shvydenko, A.Y. & Tsihankov, A.Y. (1978). Culture of black walnut. Lviv: Vishcha Shkola [in Ukrainian].
2. Hordiienko, N.M., Bondar, A.O. & Hordiienko, M.I. (2001). Introductions in the forests of Polissya and Forest-Steppe of Ukraine. Kyiv: Urozhay Publishing House [in Ukrainian].
3. Paudel, P., Satyal, P., Dosoky, N.S., Maharjan, S. & Setzer, W.N. (2013). *Juglans regia* and *Juglans nigra*, two trees important in traditional medicine: a comparison of leaf essential oil compositions and biological activities. *Nat. Product Comm.*, 8, pp. 1481-1486. <https://doi.org/10.1177/1934578X1300801038>
4. Aboimova, A.N. & Polyakov, A.K. (2012). Growth and development of *Juglans nigra* L. in the South-East of Ukraine. *Industrial Bot.*, 12, pp. 283-286. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/67467>
5. Valeriu-Norocel, N., Rédei, K., Vor, T., Bastien, J.-C., Brus, R., Benčat, T., Đodan, M., Cvjetkovic, B., Andrašev, S., La Porta, N., Lavnyy, V., Petkova, K., Peric, S., Bartlett, D., Hernea, C., Pástor, M., Mataruga, M., Podrázský, V., Šfecia, V. & Štefančík, I. (2020). A review of black walnut (*Juglans nigra* L.) ecology and management in Europe. *Trees*, 34. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-01988-7>
6. Tree Nuts. (Walnut polyphenols: structures and functions). (2009). Fukuda T. (Ed.). *Tree Nuts: composition, phytochemicals, and health effects*. Alasalvar C., Shahidi F. (Eds.). *Nutraceutical Science and Technology*. New York: CRC Press Taylor & Francis Grup.
7. Islam, A.K.M.M. & Widhalm, J.R. (2020). Agricultural uses of juglone: opportunities and challenges. *Agronomy*, 10(10), 1500. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101500>
8. Liu, S., Cheng, S., Jia, J. & Cui J. (2022). Resource efficiency and environmental impact of juglone in *Pericarpium Juglandis*: a review. *Front. Env. Sci.*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.999059>
9. Macias, F.A., Molinillo, J.M.G., Varela, R.M. & Galindo, J.C.G. (2007). Allelopathy — a natural alternative for weed control. *Pest Manag. Sci.*, 63 (4), pp. 327-348. <https://doi.org/10.1002/ps.1342>
10. Lv, S.T., Du, W.X., Bai, S.M. & Chen, G. (2018). Insecticidal effect of juglone and its disturbance analysis in metabolic profiles of *Aphis gossypii* glover using ¹H NMR-based metabolomics approach. *Phytoparasitica*, 46 (4), pp. 521-531. <https://doi.org/10.1007/s12600-018-0682-6>
11. Shang, X.F., Liu, Y.Q., Guo, X., Miao, X.L., Chen, C., Zhang, J.X., Xu, X.S., Yang, G.Z., Yang, C.J., Li J.C. & Zhang, X.S. (2018). Application of sustainable natural resources in agriculture: Acaricidal and enzyme inhibitory activities of naphthoquinones and their analogs against *Psoroptes cuniculi*. *Sci. Rep.* 8, 1609. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19964-0>
12. Yash, P. & Kalra, C.R.C. (2000). Handbook of reference methods for plant analysis. Corporate Blvd., NW, Boca Raton, FL 33431.
13. Hrodzynskyi, A.M. (1991). Alelopathy of plants and soil fatigue: izbr.tr. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
14. Gilchrist-Saavedra, L., Fuentes-Dávila, G., Martínez-Cano, C., Lopez-Atilano, R.M., Duveiller, E., Singh, R.P., Henry, M. & I. Garcia, A. (2006). Practical guide to the identification of selected diseases of wheat and barley. Mexico, D.F.: CIMMYT.
15. Frak, E., Millard, P., Roux, X., Guillaumie, S. & Wendler, R. (2002). Coupling sap flow velocity and amino acid concentrations as an alternative method to ¹⁵N labeling for quantifying nitrogen remobilization by walnut trees. *Plant Physiol.*, 130, pp. 1043-1053. <https://doi.org/10.1104/pp.002139>
16. Duran, A.G., Chinchilla, N., Molinillo, J.M.G. & Macias, F.A. (2019). Structure-activity relationship studies on naphthoquinone analogs. The search for new herbicides based on natural products. *Pest Manag. Sci.*, 75 (9), pp. 2517-2529. <https://doi.org/10.1002/ps.5442>
17. Mykhalska, L.M., Zozulia, O.L., Hrytsev, O.A., Sanin, O.Y. & Schwartau, V.V. (2019). Distribution of species of *Fusarium* and *Alternaria* genera on cereals in Ukraine. *Biosys. Diver.*, 27 (2), pp. 186-191. <https://doi.org/10.15421/011925>
18. Schiro, G., Verch G., Grimm, V. & Muller, M.E.H. (2018). *Alternaria* and *Fusarium* Fungi: differences in distribution and spore deposition in a topographically heterogeneous wheat Field. *J. Fungi (Basel)*, 24, 4 (2), 63. <https://doi.org/10.3390/jof4020063>

19. Hoffmann, A., Lischeid, G., Koch, M., Lentzsch, P., Sommerfeld, T. & Muller, M.E.H. (2021). Co-cultivation of *Fusarium*, *Alternaria*, and *Pseudomonas* on wheat-ears affects microbial growth and mycotoxin production. *Microorganisms*, 20, 9 (2), p. 443. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9020443>
20. Liu, L., Kuang, Y., Yan, F., Li, S., Ren, B., Gosavi, G., Spetz, C., Li, X., Wang, X., Zhou, X. & Zhou, H. (2021). Developing a novel artificial rice germplasm for dinotroaniline herbicide resistance by base editing of *OsTubA2*. *Plant Biotechnol. J.*, 19 (1), pp. 5-7. <https://doi.org/10.1111/pbi.13430>
21. Schwartau, V.V. & Mykhalska, L.M. (2022). Herbicide-resistant weed biotypes in Ukraine. *Rep. Nat. Acad. Sci. Ukraine*, 6, pp. 85-94 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2022.06.085>
22. Mykhalska, L.M. & Schwartau, V.V. (2022). Identification of acetolactate synthase resistant *Amaranthus retroflexus* in Ukraine. *Reg. Mech. Biosyst.*, 13 (3), pp. 231-240.

Received 23.07.2024

BIOACTIVITY OF *JUGLANS NIGRA* FALLEN LEAVES

O.I. Rudnyk-Ivashchenko¹, O.O. Borzykh¹, L.M. Mykhalska², V.V. Schwartau²

¹Institute of Horticulture, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
23 Sadova St., Novosilky, Kyiv Region, Ukraine, 03027

²Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17, Vasylykivska St., Kyiv, 03022

Black walnut (*Juglans nigra* L.) is an important crop with a wide range of uses, one of the biological characteristics of which is its allelopathic activity. Various organs of *J. nigra* contain juglone (5-hydroxy-1,4-naphthoquinone), a chemical compound with allelopathic properties. In three-year studies, it was found that the amount of phenolic compounds in the fallen leaves of black walnut, which can have a phytotoxic effect on plants, ranged from 4.93 to 5.44 %. Analysis of the effect of water extracts of black walnut fallen leaves by biotests showed no effect on germination of winter wheat Novosmuglyanka variety seeds and low degree of inhibition of root system of its sprouts. At the same time, water extracts from fallen leaves of black walnut reduced germination and root length of pepper Velyten variety seeds up to 71–72 % compared to control. It was found that during the years of research, the damage of cereal weed (common bentgrass, *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv.) by *Alternaria* in ecosystems with the presence of black walnut was significantly lower compared to similar plants in forest belts dominated by common oak. The results obtained show the prospects of using the natural naphthoquinone of the fallen leaves of the black walnut, juglone, both for the production of herbicides and for the protection of plants against diseases. Against the background of serious environmental threats caused by the widespread use of synthetic herbicides, the use of juglone can be an important environmental alternative to conventional herbicides. Therefore, the cultivation of black walnut in Ukraine is important for improving the environmental safety of agrophytocenoses.

Key words: *Juglans nigra* L., *Alternaria* spp, black walnut, phenolic compounds, juglone, phytotoxicity, biotesting.

ORCID

О.І. РУДНИК-ІВАЩЕНКО — O.I. Rudnyk-Ivashchenko <https://orcid.org/0000-0003-2724-9482>

О.О. БОРЗИХ — O.O. Borzykh <https://orcid.org/0000-0002-9802-5622>

Л.М. МИХАЛЬСЬКА — Liudmyla Mykhalska <https://orcid.org/0000-0002-0677-5574>

В.В. ШВАРТАУ — Victor Schwartau <https://orcid.org/0000-0001-7402-5559>