

CHAPTER «BIOLOGICAL SCIENCES»

ECOLOGICAL FUNCTIONS OF PLANT EXUDATES IN THE STRUCTURAL ORGANIZATION OF AGROPHYTOCENOSES

ФУНКЦІОНАЛЬНА РОЛЬ РОСЛИННИХ ВИДІЛЕНЬ У СТРУКТУРНО-ЕКОЛОГІЧНІЙ ОРГАНІЗАЦІЇ АГРОФІТОЦЕНОЗІВ

Nataliia Hnatiuk¹

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-602-7-3>

Abstract. *The purpose* of the study is to investigate the allelopathic potential of selected aromatic plant species, including *Monarda didyma* L., *Dracocephalum moldavicum* L., and *Hyssopus officinalis* L., with emphasis on their exometabolites derived from aboveground and underground organs. *The study aims* to elucidate the ecological role of these exometabolites in plant-plant and plant-microbe interactions, as well as their potential application in sustainable agroecosystems, post-harvest residue management, and bioregulatory strategies for enhancing crop productivity and biodiversity. *Methodology* involved a comprehensive analysis of experimental and literature data, combined with biochemical and ecological interpretation of the allelopathic interactions. Chemical profiling focused on volatile and non-volatile exometabolites, such as monoterpenes, phenolic compounds, flavonoids, and alkaloids, and their influence on seed germination, seedling growth, plant competition, and soil microbial communities. Special attention was given to the assessment of the effects of aromatic plant residues and essential oil production by-products on soil properties and phytosanitary conditions. *Results* indicate that aromatic plants produce complex mixtures of biologically active compounds

¹ Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Ecology and Life Safety,
Uman National University of Horticulture, Ukraine

that modulate the development of neighboring plant species, regulate microbial activity, and affect soil chemical and biological characteristics. Species from the Apiaceae Lindl., Asteraceae Dumort., Lamiaceae Lindl., and Scrophulariaceae Juss. families demonstrated particularly high allelopathic activity. The study confirmed that exometabolites function both as defense mechanisms against pests and pathogens and as regulatory factors influencing plant community structure and ecosystem dynamics. Furthermore, the allelopathic activity was shown to vary depending on ontogenetic stage, plant organ, and environmental conditions, highlighting the adaptive significance of these compounds in natural and anthropogenic ecosystems.

Practical implications include the development of environmentally safe crop protection methods, integration of aromatic plants into crop rotations, and utilization of allelopathic residues and essential oil by-products as natural bioherbicides and soil amendments. These strategies contribute to reduced chemical inputs, enhanced soil health, and improved ecological stability of agroecosystems. *Value/originality.* This research integrates ecological, biochemical, and agronomic approaches to provide a comprehensive understanding of the allelopathic potential of aromatic plants. The findings offer novel insights into the use of plant exometabolites as natural bioregulators, supporting sustainable agricultural practices, phytosanitary management, and ecological restoration. The study thus contributes to the development of resilient, ecologically balanced, and productive agroecosystems.

1. Вступ

Сучасне сільське господарство та управління агроєкосистемами стикаються з комплексом екологічних та продуктивних викликів, серед яких визначальним є необхідність збереження біорізноманіття, оптимізації сівозмін та зменшення негативного впливу хімічних засобів захисту рослин на довкілля. У цьому контексті надзвичайно важливим є вивчення природних механізмів регуляції росту, розвитку та життєдіяльності рослин, одним із яких є алелопатія – здатність рослин продукувати біологічно активні сполуки, що модулюють розвиток та функціонування інших організмів у середовищі їхнього проживання.

Алелопатична активність рослин проявляється через виділення водорозчинних і летких сполук. Водорозчинні екзометаболіти, які надходять у ґрунт через кореневу систему та післяжнивні рештки, здатні інгібувати ріст і розвиток конкурентних видів, модулювати активність ґрунтових мікроорганізмів та змінювати фізіолого-біохімічні властивості ґрунтового середовища. Леткі сполуки, до яких належать ефірні олії, монотерпени, фенольні сполуки та фітонциди, надходять у атмосферу та на поверхню ґрунту, регулюючи конкуренцію між рослинами, пригнічуючи розвиток патогенних мікроорганізмів і фітофагів, а також модулюючи проростання насіння бур'янів і культурних видів. Сучасні експериментальні дані свідчать, що леткі фітонциди здатні проникати через продихи листків у міжклітинний простір і надходити до клітин, змінюючи обмінні процеси, що визначає їх роль як потужного регулятора росту та розвитку рослин у природних та агроекосистемах.

Особливий науковий інтерес становлять ефіроолійні та ароматичні рослини родин *Apiaceae*, *Asteraceae*, *Lamiaceae* та *Scrophulariaceae*, які характеризуються високим рівнем алелопатичної активності. Встановлено, що компоненти ефірних олій – монотерпени, фенольні сполуки, флавоноїди та алкалоїди – володіють здатністю пригнічувати розвиток патогенних мікроорганізмів, інгібувати ріст бур'янів, модулювати фізіолого-біохімічні процеси культурних рослин та покращувати властивості ґрунту. Водночас механізми дії водорозчинних екзометаболітів у післяжнивних рештках і їхня роль у фіторегуляції залишаються недостатньо дослідженими, особливо стосовно трав'янистих ефіроолійних видів і напівкущів.

Мета дослідження полягає у комплексному аналізі алелопатичної активності водорозчинних та летких виділень вибраних ароматичних рослин протягом онтогенезу, визначенні закономірностей накопичення біологічно активних сполук у надземних і підземних органах, а також оцінці їхнього впливу на ріст культурних і бур'янистих видів. В рамках дослідження передбачено визначення взаємозв'язку концентрацій летких і водорозчинних сполук із фізіологічними реакціями рослин і ґрунтової мікрофлори та розробку рекомендацій щодо використання ароматичних рослин як природних фіторегуляторів і біологічно безпечних засобів у сучасних агроекосистемах.

Очікувані результати дозволять уточнити механізми алелопатичної взаємодії рослин, підвищити ефективність застосування ароматичних культур для біорегуляції агроєкосистем і сприятимуть розвитку екологічно безпечних технологій захисту рослин.

2. Алелопатія та роль фізіологічно активних сполук у біогеоценозі

Алелопатія вивчає колообіг фізіологічно активних сполук у біогеоценозі, які беруть безпосередню участь у механізмах саморегуляції, процесах відновлення, розвитку й трансформації рослинних угруповань. Початковою ланкою алелопатичного колообігу є біосинтез колінів або їхніх попередників у рослині-донорі, що супроводжується подальшим надходженням цих речовин у навколишнє середовище. Завершальним етапом даного циклу виступає поглинання колінів рослиною-акцептором та їх подальша багатогранна фізіолого-біохімічна взаємодія з клітинами і тканинами. Важливу роль у цьому процесі відіграє коренева система, яка двічі задіяна у колообігу: по-перше, як орган виділення біологічно активних речовин, зокрема колінів та їхніх попередників, а по-друге – як орган поглинання цих сполук із середовища та включення їх у метаболічні процеси рослини [3, с. 64]. У науковій літературі на сьогодні подано лише поодинокі й фрагментарні відомості щодо біохімічного складу корневих виділень та вторинних метаболітів рослин. Незважаючи на значний науковий інтерес до цього питання, систематизованих даних про різноманітність і динаміку цих речовин бракує. Відомо, що водорозчинні коліни надходять у навколишнє середовище протягом усього онтогенезу рослин, насамперед із корневими виділеннями, які є важливим каналом алелопатичних взаємодій. Крім того, значна їх кількість потрапляє у ґрунтове середовище й з надземних органів: унаслідок дощових змивів, які вимивають речовини з поверхні листків та стебел, а також у процесі мінералізації та розкладу відмерлих тканин. Сукупність цих шляхів надходження створює постійний і безперервний потік алелохімічних речовин, що забезпечує їхню участь у регуляції міжвидових взаємовідносин, зміні структури угруповань та підтриманні біоценотичної рівноваги [20, с. 703].

На сучасному етапі розвитку біологічної науки особлива увага приділяється дослідженню механізмів дії водорозчинних колінів, які виді-

ляються листками вищих рослин, і цей напрямок досліджень визнається одним із пріоритетних у галузі алелопатії. Основними джерелами таких речовин є екsudати та випоти, що змиваються з поверхні листя під дією атмосферних опадів, а також сполуки, які вилуговуються з опалого листя, гілок, кори та частин оцвітини. Потрапляючи у ґрунтове середовище, ці речовини зазнають мікробіологічної та хімічної трансформації, концентруються у верхньому шарі ґрунту та підстилці й стають доступними для проростаючого насіння та кореневих систем сусідніх рослин. Саме така циркуляція колінів створює постійний потік алелохімічних сполук, що відіграє ключову роль у формуванні взаємодій між рослинами в угрупованнях.

Вплив водорозчинних колінів на рослини-акцептори може бути різноспрямованим і залежить від концентрації речовин, їх хімічної структури та стану рослини-реципієнта. За певних умов коліни здатні стимулювати ріст і розвиток, активізуючи клітинні процеси, тоді як у більш високих концентраціях вони проявляють інгібуючий ефект, пригнічуючи проростання насіння, дихання, фотосинтез, синтез ферментів та інші фізіологічні процеси. Подвійність дії цих сполук обумовлена особливостями їх взаємодії з клітинними мембранами, рецепторними системами та ферментативними шляхами метаболізму рослин-акцепторів, а також впливом зовнішніх факторів, включаючи мікробіоту ґрунту, фізико-хімічні властивості субстрату, температуру та вологість середовища.

Особливе значення у цих процесах мають стійкі фенольні інгібітори. До таких сполук відносяться таніни, хлорогенна, еллагова та оксибензойна кислоти, а також паракумаринова кислота, яка відзначається високою біологічною активністю та здатністю до тривалої стабільності у ґрунтовому середовищі. Паракумаринова кислота часто виявляється у ґрунтах, що зазнали алелопатичної інтоксикації, і тому може слугувати ефективним біоіндикатором стану середовища, допомагаючи оцінювати як біологічне, так і хімічне забруднення. Виявлено, що фенольні інгібітори здатні регулювати ріст і розвиток сусідніх рослин, пригнічуючи проростання насіння бур'янів, змінюючи структуру кореневої системи, а також впливати на мікробіоту ґрунту, що сприяє підтриманню стабільності та стійкості угруповань.

Завдяки своїй здатності до накопичення і тривалого збереження у верхніх шарах ґрунту, фенольні сполуки відіграють важливу роль у підтриманні саморегуляції екосистем, формуванні видової структури угруповань і контролі над біологічною продуктивністю. Вивчення їхніх фізіолого-біохімічних ефектів не лише поглиблює розуміння механізмів алелопатії, але й відкриває перспективи для практичного використання у рослинництві. Зокрема, знання про роль фенольних інгібіторів може бути використане для оптимізації сівозмін, добору культурних рослин, стійких до алелопатичного впливу, а також для розробки екологічно безпечних методів управління агроєкосистемами та моніторингу їхнього стану.

Дослідження ролі водорозчинних колінів та фенольних сполук відкриває перспективи для практичного застосування алелопатичних механізмів у рослинництві. Це включає контроль фітотоксичності ґрунтів, оптимізацію сівозмін, добір культурних рослин, стійких до алелопатичного впливу, а також розробку екологічно безпечних методів управління агроєкосистемами. Глибоке розуміння фізіолого-біохімічних взаємодій колінів дозволяє прогнозувати процеси саморегуляції рослинних угруповань і підтримувати біоценотичну рівновагу, що є ключовим для збереження продуктивності та стабільності екосистем.

У природних умовах фенольні сполуки поступово накопичуються у ґрунті та рослинних тканинах до токсичного рівня, при якому сповільнюється ріст рослин-донорів і, відповідно, виділення ними колінів. Внаслідок цього у фітоценозі формується певний середній рівень колінів, який може зазнавати відхилень у той чи інший бік залежно від сезонних і екологічних умов, інтенсивності фотосинтезу, вологості та складу ґрунту. Така динаміка накопичення колінів створює баланс між стимулюючими та інгібуючими ефектами на рослини-акцептори, забезпечуючи природну регуляцію ростових процесів і підтримання структури угруповань.

За літературними даними, алелопатичний механізм дії через водорозчинно активні речовини надземних органів найбільш поширений у багаторічних деревних і чагарникових рослин, що зростають у помірно вологих регіонах. Саме надземні частини рослин – листя, гілки та суцвіття – є основними джерелами колінів, які потрапляють у ґрунт через дощові змиви або розкладання органічних решток.

Такий механізм забезпечує тривалий та систематичний вплив на оточуючі рослини, формуючи специфічні просторові й видові взаємодії в угрупованнях [3, с. 126].

Кількість речовин, що вимиваються з листків рослин, значною мірою визначається морфологічними особливостями листової пластинки. Наприклад, листки з товстою шкірястою поверхнею, які важко змочуються, виділяють менше речовин у порівнянні з тонкими, м'якими та легко зволожуваними листками. У складі виділень листків присутні як органічні, так і неорганічні компоненти. Частка мінеральних речовин може бути достатньо великою, щоб позитивно впливати на ріст і розвиток сусідніх рослин. Водночас у природних екосистемах вплив цих мінеральних компонентів на розвиток рослин є незначним і, ймовірно, практично не визначальним.

Дослідження показали, що кліматичні фактори суттєво впливають на обсяг рослинних виділень. Зокрема, після тривалої спекотної погоди інтенсивність вимивання речовин підвищується, тоді як під час похмурої, малосонячної погоди кількість виділень значно зменшується. Така закономірність пояснюється активізацією асиміляційної діяльності та транспірації листків у сонячні дні, що сприяє накопиченню виділень на поверхні листової пластинки. У протилежних умовах – за обмеженого сонячного світла та підвищеної вологості – накопичення виділень зменшується, що, у свою чергу, знижує їхню доступність для ґрунту та рослин-акцепторів.

Характер опадів також істотно впливає на кількість речовин, що виділяються листками рослин. Так, під час раптових грозових злив зафіксовано дуже низький рівень виділень, тоді як дрібні, тривалі моросяні дощі здатні вимивати з листків значну кількість органічних і неорганічних сполук. Частина речовин, що втрачається рослиною під час тривалого дощу, може досягати 25 % від загального обсягу виділень.

Важливим фактором є також вік рослин. У ювенільній стадії розвитку виділення речовин є незначним, тоді як у генеративній фазі рівень виділень зростає приблизно в 4–5 разів і протягом тривалого часу залишається майже стабільним. Таким чином, інтенсивність алелопатичних виділень прямо залежить від фазового розвитку рослин і їх фізіологічного стану.

Опале листя з кущів і дерев зберігає свою токсичність протягом року і навіть довше. Процес вимивання колінів дощовими опадами відбувається надзвичайно повільно, що дозволяє речовинам залишатися у ґрунті у активному стані протягом тривалого часу та брати участь у регуляції ростових процесів сусідніх рослин. Таким чином, накопичення колінів у підстилці та верхньому шарі ґрунту створює своєрідний «резервуар» алелопатичних речовин, який підтримує стабільність біогеоценозу і забезпечує довготривалу дію рослинних виділень на екосистему [24, с. 56].

Основна частина колінів – фізіологічно активних сполук – бере участь в алелопатичних процесах і зосереджується у кореневмісному шарі ґрунту. Приблизно 60–90 % усіх летких і водорозчинних колінів, що припадають на одиницю площі фітоценозу, накопичується у ґрунтовому середовищі в формі, доступній для засвоєння рослинами. Значно менший їхній вміст виявляється в опалому листі, воді чи атмосферному повітрі. Відтак, кореневі системи, які перебувають у зоні найбільшої концентрації колінів, відіграють провідну роль в алелопатичній взаємодії рослин [31, с. 6; 21, с. 1152].

Крім того, кореневі виділення можуть виконувати функцію адаптивної реакції на змінені умови середовища. Зокрема, встановлено, що висихання ґрунту до фази в'янення рослин стимулює посилене виділення амінокислот і відновлених сполук. Водночас екскреція позаклітинних продуктів гідролізу в ризосферу відображає еволюційно сформоване пристосування рослин до більш ефективного засвоєння окремих елементів мінерального живлення. Засвоєні протягом вегетації зольні елементи наприкінці цього періоду значною мірою повертаються в ґрунт (втрата може становити близько 38 % K, 22 % Ca та 10 % Mg). Частина корневих виділень повторно використовується тією ж самою або сусідніми рослинами ценозу. Прямий обмін метаболітами між корневими системами суміжних рослин відіграє ключову роль у формуванні їхніх взаємовідносин [10, с. 125].

Продукти корневих виділень слугують важливим субстратом для ризосферної та ґрунтової мікрофлори, оскільки містять легкодоступні сполуки азоту й вуглецю. Зокрема, вони виступають джерелом енергії для процесів несимбіотичної азотфіксації, на які витрачається близько 25–37 % вуглецю. Завдяки трансформації цих сполук популяції

азотфіксуючих бактерій отримують енергетичний ресурс для розвитку та здійснення мікробіологічної фіксації атмосферного азоту. Водночас ризосферна мікробіота забезпечує рослини необхідними метаболітами – амінокислотами, вуглеводами й органічними кислотами.

Через кореневу систему в ґрунт потрапляють як сполуки, що надходять із зовнішнього середовища, так і ті, що синтезуються безпосередньо в рослинному організмі. На початкових фазах розвитку частка корневих виділень становить близько 7–10 % надземної маси, а протягом усього вегетаційного періоду вона може сягати 25 % від загальної маси рослини. У вигляді корневих ексудатів виділяється приблизно 2–12 % засвоєного вуглецю, що еквівалентно 0,3–7,2 т/га сухої речовини на рік. Сумарна кількість цих речовин за масштабами наближається до величини господарського врожаю.

Фізіологічна роль корневих виділень полягає у зміні метаболічних процесів акцепторних рослин, а також у регуляції надходження води й поживних речовин. Проникаючи в тканини, фізіологічно активні ексудати можуть модифікувати обмін речовин, зумовлюючи як стимуляцію, так і інгібування ростових процесів.

Кореневі системи рослин виділяють широкий спектр водорозчинних органічних сполук, що є результатом як первинного, так і вторинного метаболізму. Процес виділення відбувається у звичайних умовах та розглядається як нормальна фізіологічна функція рослинного організму. До складу корневих ексудатів входять цукри, деякі вітаміни, ферменти та леткі органічні сполуки, які відіграють роль у регуляції метаболізму ризосферної мікробіоти та у формуванні алелопатичних взаємовідносин між видами.

Особливе значення мають органічні кислоти, серед яких виявлено всі сполуки циклу Кребса, а також саліцилову, коричну, хлорогенову, метилоцтову, фенілпропіонову й 2-фуранакрилову кислоти. Вони впливають на фізико-хімічні властивості ґрунту, зокрема змінюють його реакцію та підвищують розчинність мінералів, що сприяє кращій доступності елементів живлення для рослин. Водночас ці кислоти виконують алелопатичну функцію, оскільки здатні інгібувати або стимулювати розвиток окремих груп мікроорганізмів, регулюючи структуру мікробних ценозів ризосфери.

Алелопатична дія вищезазначених сполук виявляється і у прямому впливі на сусідні рослини: вони можуть змінювати проникність клітинних мембран, порушувати баланс фітогормонів, модифікувати процеси дихання та фотосинтезу. Завдяки цьому органічні кислоти, що входять до складу кореневих виділень, беруть активну участь у конкурентних відносинах у фітоценозах, визначаючи співіснування видів та продуктивність агроecosистем.

Серед вуглеводів, що входять до складу кореневих ексудатів, найчастіше виявляють глюкозу, альдозу, ксилозу, рафінозу, рамнозу, рибозу, манозу, фруктозу, галактозу, сахарозу та лактозу. Вони виконують не лише функцію джерела енергії для ризосферної мікрофлори, але й беруть участь у формуванні алелопатичних взаємовідносин між рослинами та мікроорганізмами, впливаючи на структурно-функціональну організацію ґрунтових мікробних угруповань.

До складу кореневих виділень також входять азотисті сполуки – амінокислоти, аміди та аміак. Найвищий рівень екскреції амінного азоту спостерігається на ранніх фазах розвитку рослин, тоді як наприкінці вегетації його кількість зменшується у 4–20 разів. Серед амінокислот у складі ексудатів домінують лізин, орнітин, аспарагінова та глутамінова кислоти, серин, метіонін і гліцин. Рослини, здатні виділяти значні кількості амінокислот, вважаються перспективними фіторемедіантами, оскільки вони стимулюють розвиток мікрофлори, активізують процеси нітрифікації й денітрифікації, сприяють покращенню структури ґрунту та зниженню токсичності забруднювачів.

Особливе значення мають амінокислоти, що з'являються у складі ексудатів під впливом стресових факторів. Так, цистеїн, ізолейцин, лейцин і лізин були ідентифіковані переважно у виділеннях рослин, які зазнавали дефіциту заліза. Це свідчить про їхню ключову роль у механізмах адаптації до мінерального голодування, а також у регуляції метаболічної активності ризосферних мікроорганізмів.

З агроecологічної точки зору, амінокислоти у складі кореневих виділень відіграють подвійну функцію: з одного боку, вони покращують біодоступність важких металів завдяки утворенню хелатних сполук, з іншого – сприяють детоксикації забруднених ґрунтів шляхом активації процесів мікробного розкладу ксенобіотиків. Це робить такі рослини перспективними для використання у фіторемедіації територій,

забруднених важкими металами, нафтовими вуглеводнями та іншими токсикантами [29, с. 73].

Відомо, що частина органічних речовин втрачається живою протоплазмою внаслідок вилугування ґрунтовою вологою, інша – надходить у ризосферу через обмінну адсорбцію з поверхні коренів. Окремі сполуки активно виділяються рослинами з метою захисної реакції. Зокрема, навколо коренів формується характерна плівка слизу – муцигель, основу якої становлять полісахариди. Цей слиз утворює стабільний гідрофільний бар'єр, що захищає корені від механічних пошкоджень, дії ґрунтових мікроорганізмів і коливань вологості. Кількість муцигелю є значною і може досягати сотень тонн на гектар [29, с. 253].

Екологічна роль муцигелю полягає не лише у фізичному захисті коренів, а й у регуляції взаємодії рослин з мікробними угрупованнями. Муцигель служить субстратом для розвитку специфічної ризосферної мікрофлори, бере участь у фіксації ґрунтових часток, сприяє збереженню вологи, підвищує буферність і стабільність ризосфери. Таким чином, він є ключовим чинником формування мікроекологічної рівноваги у ґрунті.

Корені також виділяють леткі органічні сполуки, що виконують сигнальні та алелопатичні функції. Вони можуть пригнічувати розвиток конкурентних видів рослин, стимулювати або гальмувати активність ґрунтових мікроорганізмів, а також брати участь у міжвидовій комунікації. Леткі речовини здатні поширюватися на значну відстань у ґрунтовому повітрі, створюючи «хімічне поле» навколо кореневої системи, яке визначає характер взаємодії між рослинами та іншими організмами агроecosистем [33, с. 363].

У комплексі муцигель і леткі органічні сполуки виступають важливими регуляторами стійкості агрофітоценозів, забезпечуючи захист рослин, оптимізацію умов мінерального живлення та баланс мікробних популяцій у ризосфері [24, с. 163].

– Проте кореневі виділення та інші речовини, що вивільнюються кореневою системою, можуть проявляти непряму алелопатичну дію на сусідні вищі рослини, а також здійснювати аутопатичний ефект – безпосередньо впливати на власний розвиток. На підставі проведеного аналізу можна виокремити кілька ключових положень:

– Через корені рослини виділяють продукти фотосинтезу, які становлять приблизно 2–12 % від загальної кількості засвоєного вуглецю. Ці екsudати служать живильним субстратом для ризосферної мікрофлори, що складається переважно з гетеротрофних мікроорганізмів. Загальна жива маса таких мікробних популяцій у ґрунті може досягати 6–8 т/га, що підкреслює важливість корневих виділень для підтримки біологічної продуктивності та стабільності агроecosистем.

– Позитивний вплив корневих виділень на мікрофлору відомий як ризосферний ефект, який проявляється стимуляцією росту та активності ґрунтових бактерій і грибів, що підвищує мінеральне живлення рослин, сприяє азотфікації та покращенню структури ґрунту. Водночас існує протилежне явище – ризосферний «антиефект», коли кореневі екsudати пригнічують або знищують певні мікроорганізми, формуючи новий склад мікробіоти. Такий новий мікробіоценоз створює специфічний склад колоній, який до росту рослини-донора на даній ділянці не спостерігався. В агроecологічному контексті це явище важливе для формування конкурентних переваг рослинних видів, а також для контролю патогенів у ризосфері.

– За специфічних ґрунтових умов, таких як анаеробіоз або затоплення, кореневі виділення трансформуються в спирти, альдегіди, оксикислоти та вуглеводні, які можуть надходити назад у рослини або накопичуватися у ґрунті. Вважають, що у таких умовах загибель рослин зумовлена не лише дефіцитом кисню для дихання коренів, а й токсичною дією продуктів деструкції екsudатів анаеробними мікроорганізмами. Цей механізм створює локальні зони підвищеної токсичності у ґрунті, що є яскравим прикладом алелопатичного ефекту за умов антропогенного навантаження.

– З агроecологічної точки зору, ризосферний ефект і антиефект мають практичне значення. Позитивний ризосферний ефект сприяє покращенню доступності поживних елементів, підвищенню родючості ґрунту та підтриманню здоров'я агрофітоценозів. Ризосферний антиефект може використовуватися для природного пригнічення патогенів і небажаних бур'янів, а також для регулювання мікробного складу ґрунту у зонах інтенсивного антропогенного впливу. Таким чином, кореневі виділення не лише підтримують біологічну активність ґрунту, але й виконують важливу роль у формуванні стійких та

продуктивних агроєкосистем, сприяючи адаптації рослин до змінних умов середовища [27, с. 280].

Рослини в угрупованнях взаємно коригують добові та більш тривалі ритми своєї життєдіяльності, пристосовуючись один до одного [23, с. 126]. Це явище супроводжується міжкореневим обміном сигналами та метаболітами, що безпосередньо впливає на ритміку фізіологічних процесів і визначає характер взаємодії рослин у фітоценозі.

Механізм міжкореневого обміну можна схематично представити наступним чином: рослина відповідно до свого добового ритму виділяє у ґрунтове середовище різні речовини. Вночі переважають окислювальні процеси, унаслідок чого в ґрунт надходять вуглекислий газ, органічні кислоти, амінокислоти та мінеральні сполуки. Вдень, завдяки активізації фотосинтезу, відбуваються окислювально-відновні процеси: корені поглинають аніони з ґрунту та виділяють цукри. Сполуки, що потрапляють у ґрунт, частково фіксуються колоїдною фазою ґрунту і надалі можуть знову поглинатися коренями та надходити до рослини, забезпечуючи безперервний обмін речовин та сигналів між членами угруповання.

З агроєкологічної точки зору, цей міжкореневий обмін має багато-рівневу роль. По-перше, він сприяє формуванню специфічного складу ризосферної мікрофлори, яка підвищує біодоступність поживних елементів і стимулює процеси азотфіксації та розкладу органічної речовини. По-друге, кореневі екsudати та леткі сполуки забезпечують «алелопатичну регуляцію», пригнічуючи конкурентні види рослин і стимулюючи ростові процеси у сумісних видах, що оптимізує використання ресурсів у фітоценозі.

Крім того, міжкореневий обмін метаболітами забезпечує адаптивну пластичність рослинних угруповань: ритми виділення і поглинання речовин у різних видів можуть не збігатися, що полегшує їх співіснування і мінімізує конкуренцію за поживні речовини та воду. Таким чином, обмін метаболітами через кореневі системи виступає як фізіологічний та екологічний механізм підтримки «стійкості агроєкосистем», забезпечуючи баланс між продуктивністю рослин, активністю мікрофлори та стійкістю фітоценозів до стресових факторів [26, с. 3].

Окрему увагу слід приділяти летким виділенням ароматичних рослин та їх впливу на абіотичні фактори середовища. Ароматичні

рослини відрізняються від інших здатністю синтезувати леткі органічні сполуки з характерним специфічним запахом, які поширюються у повітрі та ґрунтовому середовищі. Ці сполуки можуть впливати на ріст і розвиток сусідніх рослин, змінювати активність ґрунтових мікроорганізмів, регулювати біохімічні процеси в агроєкосистемах і, тим самим, здійснювати як алелопатичну, так і сигнальну функцію.

Важливо відзначити, що леткі ексудати не лише впливають на біологічну активність ґрунту, але й модулюють абіотичні фактори – наприклад, через зміну вологості повітря, рН ґрунтового розчину та хімічного складу ризосфери. Таким чином, ароматичні рослини відіграють комплексну роль у формуванні стійких і продуктивних агрофітоценозів, впливаючи одночасно на живі організми та фізико-хімічні характеристики середовища [28, с. 8]. Леткі органічні сполуки (ЛОС) – це органічні речовини, які при звичайних температурних умовах можуть перебувати у вигляді газу, пари або аерозолі [4, с. 180]. Вони включають вуглеводні, альдегіди, спирти, кетони та терпеноїди, які активно виділяються рослинами та деревними культурами в атмосфері. Зокрема, за добу 1 гектар соснового лісу може виділяти близько 5 кг летких фітонцидів, тоді як насадження ялівцю звичайного – до 30 кг. Це свідчить про значну роль ялівцю в очищенні повітря від мікроорганізмів завдяки високій концентрації цих біологічно активних сполук [22, с. 399].

Аромати квітів, набубнявілих бруньок чи прілого листя добре знайомі кожному. Це пояснюється тим, що багато видів рослин виділяють леткі органічні сполуки (ЛОС), які проявляють високу фізіологічну активність і можуть взаємодіяти з іншими організмами та середовищем. Леткими виділеннями називають різноманітні хімічні сполуки, що вивільняються надземними органами рослин, не зосереджені у спеціалізованих залозах, мають різну хімічну природу і не завжди піддаються ідентифікації.

Ці сполуки включають альдегіди, кетони, спирти, терпеноїди та інші органічні молекули, що беруть участь у захисті рослини від патогенів, регуляції росту, залученні запилювачів та міжрослинній комунікації. Інтенсивність та склад летких виділень можуть змінюватися залежно від фенологічного стану рослини, зовнішніх факторів середовища, таких як температура, вологість і світло, а також від

фізіологічного стресу (наприклад, пошкодження, атаки шкідників) [34, с. 1892; 35, с. 107].

Серед летких виділень рослин виявлено широкий спектр хімічних сполук: водень, синильну кислоту, ефірні олії [5, с. 82], аліфатичні вуглеводні (ізопрен, етилен, пропілен, бутилен, ізобутилен), альдегіди (мурашиний, оцтовий, пропіоновий, масляний), спирти (метанол, етанол, пропанол), кетони, органічні кислоти, складні ефіри, а також речовини гормональної природи.

Механізм дії летких виділень [30, с. 22], досить простий: вони проникають через продихи листків у міжклітинні простори, а звідти безпосередньо надходять до клітин рослини. Саме тому фізіологічний ефект, наприклад, фітонцидів, найбільш виражений у періоди освітлення рослин. Практичне значення летких виділень полягає у їх участі в механізмах взаємодії різних видів рослин у межах фітоценозів, сприяючи регуляції росту, захисту від шкідників та комунікації між рослинами.

Літературні дані також свідчать про вплив летких виділень рослин на хімічний склад ґрунту. Глиниста фракція ґрунту адсорбує з повітря різноманітні леткі сполуки, включно з карбоновими кислотами, аміаком, вуглеводнями, альдегідами, кетонами, складними спиртами та ефірними оліями. Значна частина летких речовин утворюється під час деструкції рослинних решток, серед яких спирти, альдегіди, кетони та оксикислоти. Адсорбовані ґрунтові гази і леткі речовини беруть участь у хімічних процесах ґрунту, зокрема впливають на мікробіологічну активність, утворення гумусу та біогеохімічні цикли елементів.

Леткі речовини можуть поглинатися і безпосередньо засвоюватися рослинами. Оскільки вони є фізіологічно активними, їхня дія може бути як стимулюючою, так і гальмівною щодо ростових процесів рослин [14, с. 256]. Наприклад, леткі фітонциди таких видів, як полин, борщівник, черемха, мигдаль, монарда та інші, негативно впливають на мікроорганізми, нижчі тварини та рослини: вони гальмують проростання насіння, процеси фотосинтезу та розвиток рослин.

Рівень природних концентрацій летких речовин для трав'янистих рослин коливається в межах $0,5\text{--}1,5\text{ мг/м}^3$ [7, с. 897], тоді як для деревію – $0,27\text{ мг/м}^3$; монарди – $0,17\text{ мг/м}^3$; кмину – $0,31\text{ мг/м}^3$; васильків – $0,13\text{ мг/м}^3$; котячої м'яти – $0,1\text{ мг/м}^3$; фенхелю – $0,1\text{ мг/м}^3$;

чорнобривців – 0,37 мг/м³; полину однорічного – 0,17 мг/м³; полину кримського – 0,33 мг/м³ [27, с. 16].

Сумарно леткі виділення ароматичних рослин формують значну масу органічних сполук, які потрапляють у атмосферу, гідросферу та ґрунт, виконуючи важливу регуляторну роль у структурній організації біогеоценозів [18, с. 66].

За даними досліджень як вітчизняних, так і зарубіжних вчених, леткі екзометаболіти та чисті ефірні олії, а також окремі їхні компоненти, здатні пригнічувати розвиток патогенних мікроорганізмів і позитивно впливати на стан здоров'я людини [36, с. 62]. Окремі роботи також висвітлюють вплив ефірних олій на фітопатогенні мікроорганізми [32, с. 106] та шкідників рослин.

Значну увагу заслуговують гербіцидні, бактерицидні та фунгіцидні властивості легких рослинних сполук [32, с. 109]. Зокрема, гербіцидна активність притаманна рослинам грецького та чорного горіха завдяки синтезу юглону, який утворюється під час окислення гідроюглона. Ця сполука вимивається опадами і пригнічує розвиток рослин, що простояють під кроною дерев.

Суттєва гербіцидна, бактерицидна та фунгіцидна дія спостерігається також для агропірену, який виділяється кореневищами пирію повзучого. Під час надходження агропірену (вміст якого у коренях та листках злакових рослин становить 95 %) спочатку пошкоджуються корені, а згодом відмирає вся коренева система. Потрапляючи у судинну систему, ця сполука рухається до меристематичних клітин і пригнічує розвиток молодих листків.

Дослідження показали, що овес інгібує ріст маку самосійки, а жито та пшениця своїми леткими виділеннями пригнічують розвиток ромашки приморської. Навколо гірчиці бур'яни не розвиваються, а при сумісному вирощуванні гороху та гірчиці урожай гороху збільшується вдвічі.

Полин негативно впливає на розвиток таких рослин, як фенхель, шавлія та котовник. Гальмівна дія полину на сусідні рослини обумовлена синтезом низки сполук, перш за все абсинтину, який вимивається опадами з листя [8, с. 122]. Крім того, тканини полину містять ефірну олію, що включає туйоновий спирт, туйон, терпени (кадинен, пінен, феландрен), азулен, хамазуленоген, ізовалеріанову та оцтову кислоти,

а також гіркі глікозиди, таніни, каротини та фітонциди. Двократна обробка рослин відваром полину гіркого ефективно знищує листогризучих комах, а присутність полину в саду забезпечує його захист від плоджерки.

Насіння катрану (*Raphanus raphanistrum*) виділяє біологічно активні сполуки, які можуть мати як стимулювальну, так і пригнічувальну дію на ріст рослин, залежно від концентрації. У низьких концентраціях ці сполуки можуть стимулювати ріст рослин, тоді як у високих – пригнічувати його. Це явище є предметом досліджень у галузі екології та фізіології рослин, оскільки воно може мати значення для розуміння механізмів взаємодії між рослинами та їхнього впливу на навколишнє середовище.

Дослідження А. М. Гродзинського показали, що слабкі розчини неочищеного інгібітору, виділеного з насіння катрану, можуть стимулювати ріст листя та стебел таких рослин, як редька, ячмінь та салат. Це свідчить про наявність біологічно активних сполук у насінні катрану, які можуть впливати на ріст інших рослин [1, с. 82].

Інші дослідження також вказують на наявність у насінні катрану сполук, які можуть мати гербіцидну активність. Ці сполуки можуть пригнічувати ріст інших рослин, що ростуть поблизу катрану, і таким чином зменшувати конкуренцію за ресурси. Цей феномен може бути корисним для розробки нових методів боротьби з бур'янами та управління рослинними угрупованнями.

Загалом, дослідження насіння катрану та його біологічно активних сполук є важливими для розуміння механізмів взаємодії між рослинами та їхнього впливу на навколишнє середовище. Ці знання можуть бути використані для розробки нових методів управління рослинними угрупованнями та боротьби з бур'янами.

За Г. Грюммером [24, с. 200] існує п'ять груп токсичності летких виділень з рослинних екстрактів:

- екстракти, які сприяють швидкому відмирання проростків: ніаулі (*Melaleuca viridiflora* Myrtaceae), бад'ян (*Illicium verum*), різні види анісу (*Pimpinella anisum* L.);

- екстракти, які спочатку сприяють незначному росту проростків, а потім призводять до їх відмирання: чебрець звичайний (*Thymus vulgaris*), чебрець повзучий (*Thymus serpyllum*), деревина сассафрас

(*Sassafras officinale*), різні види лаванди (*Lavandula*), полину (*Artemisia* L.), бергамоту (*Citrus bergamia* Risso & Poit.), ялівцю (*Juniperus* L.), таволги (*Spiraea ulmaria*), пижмо (*Tanacetum vulgare* L), розмарину (*Tanacetum vulgare* L);

– екстракти, які гальмують ріст проростків і викликають пошкодження кінчиків листків: лимон (*Citrus × limon* (L.)), мандарин (*Citrus reticulata* Blanco), апельсин (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), вербена (*Verbena* L.), кориця (*Cinnamomum zeylanicum* Blume), каепут (*Melaleuca leucadendron*), іланг-іланг (*Cananga odorata* (Lam.) Hook.f. & Thomson), фіалки (*Viola* L.), коріандр (*Coriandrum* L.), гісоп (*Hyssopus* L.), шавлія (*Salvia* L.), ромашка (*Matricaria* L.), евкаліпт (*Eucalyptus* L'Hér), гаультерія (*Gaultheria* L.), різні види м'яти (*Mentha* L.), меліса звичайна (*Melissa officinalis* L.), герань (*Geranium* L.), дягель (*Archangelica officinalis* (Moench) Hoffm.), цмин (*Carum* L.);

– екстракти, які гальмують тільки ріст проростків: кумин (*Cuminum cuminum*), апельсин (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), майоран (*Origanum majorana* L.), ірис (*Iris germanica*);

– екстракти, які не мають помітного впливу на ріст дослідних рослин: пачулі (*Pogostemon cablin* (Blanco) Benth), гвоздика (*Caryophyllus* Mill.), ветівелія (*Andropodon muricatus*).

Алелопатична активність ефірної олії петрушки переважно зумовлена високим вмістом апіолу. Ефірні олії кмину та укропу відзначаються численною та високоефективною фракцією карвону, що визначає їхню біологічну активність. У чебрецевій олії основним активним компонентом є тимол, тоді як майоранова олія характеризується значним вмістом карвакролу. Висока біологічна активність ефірної олії квітів касії зумовлена наявністю анісового альдегіду.

Гальмівну дію ефірних олій на мікроорганізми широко використовують у медицині та фармації [24, с. 224]. Відомі науковці [13, с. 3] підтвердив високу антимікробну та антиоксидантну активність 46 ефірних олій, при цьому особливе значення має олія монарди дудчастої, зокрема її фенольна фракція. Для ефірних олій фенхелю, васильків і лофанту властиві бактерицидні властивості, а олії кмину, петрушки та фенхелю відзначаються високою фунгіцидною активністю.

У великих концентраціях олія монарди впливає на цитоплазматичні мембрани клітин, що змінює обмінні процеси і призводить до

мікробного анабіозу. Експериментально встановлено, що проникність цитоплазматичних мембран гальмують 46 ефірних олій.

Розмаринова олія застосовується як репелент проти кровосисних комах, завдяки вмісту урсолової та розмаринової кислот, а також дубильних речовин [1, с. 84]. Анісова олія використовується для надання приємного аромату голуб'ятням, у рибальстві як приманка та для відлякування комарів. Евкаліпт у приміщеннях запобігає появі мух і комарів [8, с. 253], а водорозчинні виділення його листків проявляють високу алелопатичну активність [8, с. 253], зокрема містять похідні коричної кислоти – кофейну, хлорогенову, п-кумаринову та ферулову кислоти.

Квітки бузини містять 0,025–0,03 % ефірної олії, основними компонентами якої є терпени; крім того, присутні парафіноподібні речовини та органічні кислоти (валеріанова, кавова, оцтова, яблучна). У листках червоної бузини утворюється глікозид самбунігрін, який під час гідролізу розкладається на глюкозу, синильну кислоту та бензальдегід і виконує функцію відлякування тварин [37, с. 203].

У ряді досліджень повідомляється про фітонцидну активність ароматичних рослин стосовно фітозахворювань. Наприклад, айстри менш уражуються фузаріозом, коли ростуть поруч із нагідками та коноплями, а фітонциди гірчиці здатні знезаражувати насіння бавовнику та знищувати спори сажки.

Фітонциди виділяються леткими сполуками, які надходять з надземної частини рослин в атмосферу, з підземної – у ґрунт, а водними рослинами – у воду, виконуючи функцію природного захисту та регуляції екосистем.

Ось розширений варіант вашого фрагмента з додатковими поясненнями та науковим контекстом:

Фітонцидна активність рослин істотно варіює протягом онтогенезу, оскільки вона залежить від фази розвитку та фізіологічного стану рослини, а також від ґрунтових і кліматичних умов, часу доби, освітленості та вологості. Велику роль відіграє видова структура рослинності, що росте поруч, оскільки взаємодія між рослинами може модифікувати кількість і склад виділених летких сполук.

Фітонциди виконують комплексну екологічну функцію. У одних видів рослин вони проявляють бактерицидну активність, знищуючи

мікроорганізми, у інших – бактеріостатичну дію, що уповільнює ріст і розмноження бактерій, а в деяких випадках фітонциди навіть стимулюють розвиток певних мікроорганізмів [28, с. 8]. Така диференційована дія зумовлює формування специфічного мікробного середовища в ґрунті та на поверхні рослин, яке може впливати на процеси гниття рослинних решток, азотний обмін та загальну продуктивність екосистеми.

Крім того, виділення летких речовин рослинами здатне створювати мікрооточення, яке обмежує доступ інших організмів до поживних речовин або модифікує швидкість їхнього росту та розвитку. Це особливо проявляється у міжвидовій конкуренції, коли фітонциди можуть пригнічувати проростання насіння та розвиток бур'янів або, навпаки, стимулювати ріст деяких видів рослин, що сприяє формуванню специфічного складу біоценозу.

Таким чином, фітонциди виконують не лише захисну функцію – вони оберігають рослини від патогенів та шкідників, але й відіграють важливу регуляторну роль у структурній організації екосистем. Завдяки цьому механізму підтримується баланс видового складу, оптимізується використання ресурсів і забезпечується стійкість агроекосистем та природних біоценозів.

Сучасні дослідження показують, що концентрація та активність фітонцидів можуть змінюватися добовими та сезонними ритмами, що дозволяє рослинам гнучко реагувати на коливання температури, вологості та освітленості. Така динаміка підвищує конкурентоспроможність рослин, сприяє їхньому виживанню в умовах змінного середовища та забезпечує адаптивну взаємодію з іншими видами в межах екосистеми.

Гілки багульника та стебла коріандру містять коріандрову олію, основними компонентами якої є лінаол і гераніол, а також стероїдні сполуки, коріандром, стерини, аскорбінову кислоту, дубильні речовини, органічні кислоти, цукри, флавоноїди та солі кальцію і фосфору. Ці речовини ефективно відлякують гризунів та шкідників плодових дерев. Для посилення виділення летких сполук коріандр рекомендується висівати біля стовбурів дерев і щотижнево підстригати. Дослідження показують, що присутність коріандру сприяє захисту троянд від тлі та інших дрібних шкідників [8, с. 255].

Крім того, в багатьох ароматичних та пряних рослинах спостерігається подібна алелопатична і репеллентна дія. Наприклад, гірчиця, чорнобривці та базилік виділяють леткі фітонциди, які пригнічують проростання бур'янів і патогенних грибів, а часник та цибуля містять леткі сірковмісні сполуки, що захищають рослини від ґрунтових шкідників та бактерій. Використання таких рослин у змішаних посадках або як прикореневі бар'єри сприяє природному захисту культурних рослин без застосування синтетичних пестицидів.

Таким чином, застосування коріандру, багульника, коноплі та інших ароматичних рослин у агроєкосистемах не лише відлякує шкідників, а й сприяє регуляції росту сусідніх рослин, зменшенню поширення хвороб і підвищенню стійкості біоценозу до зовнішніх стресових факторів.

Алкалоїди чистотілу ефективно знищують городніх блішок. Дим цієї рослини використовують для обкурювання садів з метою захисту від мідянки. Проти личинок агрусового пильщика, яблуневої гусені, плоджерки та колорадського жука застосовують дво-триразове обприскування відваром листя чистотілу. Настій зі свіжого листя також використовують для обробки кімнатних рослин, уражених тлею, трипсами та щитівками.

Хімічна структура алкалоїдів чистотілу близька до опійних сполук і представлена кількома групами. Найбільш активним серед них є хелідонін, який за своєю дією подібний до алкалоїдів опійної групи та поєднує властивості морфіну і папаверину, проявляючи сильну біологічну активність.

Еколого-алелопатичні властивості ароматичних рослин, зокрема трав'янистих ефіроолійних видів та напівкущів, залишаються недостатньо дослідженими. Більшість наукових робіт зосереджена на деревних рослинах, де вивчали роль летких екзометаболітів у алелопатії. Натомість, трав'янисті рослини, які містять монотерпенові компоненти ефірних олій, потребують більш детального вивчення.

Монотерпени, такі як ліналоол, пінен, туйон, карвон, карвакрол та інші, є основними компонентами ефірних олій ароматичних рослин. Вони володіють високою біологічною активністю і можуть проявляти фітотоксичні властивості навіть у низьких концентраціях, що робить їх ефективними у боротьбі з бур'янами, патогенними мікроорганізмами

та шкідниками рослин. Відомо, що велика кількість монотерпенів проявляє фітотоксичність в концентрації нижче 100 мг, навіть насичені водні розчини монотерпенів є сильними інгібіторами.

Академік А. М. Гродзинський та науковці відділу алелопатії Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка провели значну роботу в напрямку вивчення алелопатичних властивостей монотерпенів. Їхні дослідження показали, що ефірні олії з високим вмістом монотерпенів можуть впливати на проростання насіння, ріст кореневої системи та розвиток рослин, що робить їх перспективними для використання в агроecosистемах.

Проте, незважаючи на значний потенціал монотерпенів у алелопатії, дослідження їхньої ролі в екологічних взаємодіях рослин залишаються обмеженими. Необхідно провести додаткові дослідження для вивчення механізмів дії монотерпенів, їхньої токсичності та потенціалу для використання в біологічному контролі бур'янів та шкідників. Це дозволить розробити нові стратегії сталого землеробства та збереження біорізноманіття.

Дослідження у сфері алелопатії та фізіолого-біохімічних взаємодій рослин із середовищем показали значний прогрес у різних напрямках. Зокрема, Е. А. Головка виявила фізіолого-біохімічні взаємовідносини між вищими рослинами та мікроорганізмами в природних і штучних екосистемах, що дозволило оптимізувати сівозміни в умовах інтенсифікації землеробства та уточнити роль мікроорганізмів у формуванні алелопатичної ґрунтової [3, с. 224]. Л. Д. Юрчак здійснила фундаментальні дослідження з конструювання агрофітоценозів за участю різноманітних ароматичних рослин, що забезпечило нові підходи до організації рослинних співтовариств [19, с. 225].

В. Я. Мар'юшкіна вивчала процес адвентизації рослинного покриву та розробила практичні основи фітоценотичного контролю заносних видів [9, с. 12], тоді як С. А. Горобець досліджувала фізіологічно активні сполуки ґрунтів під час беззмінного вирощування рослин і запропонувала методичні підходи для зменшення їхньої фітотоксичності [9, с. 15]. В. К. Пузік уперше описав механізми алелопатичної дії едифікаторів злакових фітоценозів та визначив їхню роль у міжвидовій взаємодії різних видів і сортів злаків, враховуючи умови навколишнього середовища та етапи онтогенезу [16, с. 12].

С. П. Машковська виділила та ідентифікувала фізіологічно активні сполуки екзометаболітів інтродукованих видів роду *Tagetes* spp. та здійснила їхній алелопатичний аналіз [11, с. 18], тоді як Н. П. Дідик провела фітоценотичний аналіз *Elitrigia repens* (L.) Nevski та визначила конкретні механізми алелопатичної регуляції [6, с. 9]. Т. О. Щербакова вивчала фізіолого-біохімічні властивості інтродукованих видів *Echinacea purpurea* (L.) Moench і довела, що алелопатична активність цих рослин зумовлена сполуками фенольної природи (ФКК, флавоноїдами) та амінокислотами, дослідила закономірності їх накопичення в органах рослин та ґрунті.

Л. В. Орел здійснив аналіз алелопатично активних сполук вищих рослин і довів можливість створення на їх основі фіторегуляторів з гербіцидною дією [15, с. 23], тоді як Н. А. Павлюченко провела комплексний алелопатичний аналіз *Syringa vulgaris* [12, с. 20]. О. В. Міщенко виявив екологічні фактори, що впливають на вирощування *Echinacea purpurea* (L.) Moench, та з'ясував роль екзометаболітів у сучасних агроєкосистемах [12, с. 7]. С. А. Радіоза експериментально підтвердила можливість використання фітомаси видів роду *Calendula* L. як нової екологічно безпечної органічної сировини в агрофітоценології [17, с. 15].

Таким чином, встановлено, що окремі види ароматичних рослин родин *Apiaceae* Lindl, *Asteraceae* Dumort, *Lamiaceae* Lindl та *Scrophulariaceae* Juss володіють високою алелопатичною активністю, що робить їх перспективними для використання в агроєкосистемах та для біорегуляції рослинних співтовариств.

Водночас залишаються не до кінця вивченими питання, пов'язані з алелопатичною активністю екзометаболітів надземних і підземних органів таких видів, як *Monarda didyma* L., *Dracosephalum moldavicum* L., *Hyssopus officinalis* L., протягом різних фаз онтогенезу та в умовах варіабельних ґрунтово-кліматичних факторів. Недостатньо опрацьованим є еколого-алелопатичний аналіз післяжнивно-кореневих решток досліджуваних видів та відходів ефіроолійного виробництва. Також не до кінця з'ясована хімічна природа окремих алелопатично активних сполук і їхня фітосанітарна ефективність. Крім того, потребує системного дослідження питання фіторемедіаційної здатності ароматичних рослин, що відкриває нові перспективи для використання їх у сучасних агроєкосистемах та екологічно орієнтованому землеробстві.

3. Результати дослідження

З метою створення високопродуктивних агрофітоценозів необхідно з'ясувати еколого-алелопатичні властивості *Monarda didyma* L., *Dracosephalum moldavicum* L., *Hyssopus officinalis* L. (рис. 1), їх мортмаси, навколишнього ґрунту і супутньої мікрофлори, особливості взаємодії та післядії ароматичних рослин у чистих і сумісних посівах.

Узагальнення результатів вивчення алелопатичної активності водорозчинних виділень ароматичних рослин здійснено у динаміці з урахуванням різних фаз онтогенетичного розвитку. Проведені дослідження дали можливість виявити, що за інтенсивністю впливу на біотести водорозчинні виділення займають проміжне положення між іншими групами алелохімічних речовин. Для них характерна наявність певного рівня фітотоксичності, яка має виражену фазову мінливість. Так, залежно від етапу росту і розвитку донорних рослин, вплив цих виділень на тест-об'єкти може бути стимулюючим, гальмівним або ж нейтральним, коли відсутня будь-яка достовірна реакція з боку біотестів.

Проведений аналіз показав, що найбільша кількість інгібіторних сполук зосереджена в органах, які здатні акумулювати ефірні олії, насамперед у листках та суцвіттях. Натомість у вегетативних органах – коренях та стеблах – вміст таких речовин є значно нижчим. Найбільш показовим і виразним періодом з точки зору прояву алелопатичної активності виявилася фаза цвітіння, що підтверджує закономірність інтенсивного синтезу вторинних метаболітів у цей час.

Важливо підкреслити, що навіть виділення однієї й тієї ж концентрації виявляли різну дію на тест-об'єкти. Серед обраних біотестів найбільш чутливим виявився крес-салат, а саме його коренева система, що свідчить про високу чутливість до алелопатичних колінів. У ході експериментів встановлено, що водні екстракти з різних органів монарди двійчастої упродовж вегетації проявляють мінливий характер дії – від вираженого гальмівного до стимулювального ефекту. Особливої уваги заслуговує той факт, що коліни першого порядку за візуальною оцінкою значно переважали за інтенсивністю впливу інші групи алелохімічних речовин.

Отримані результати дають підстави стверджувати, що корені крес-салату характеризуються високою чутливістю до інгібіторних сполук, причому цей ефект чітко простежується як у варіантах, де рослини вирощувались у м. Києві, так і в м. Умані. Незважаючи на

певні відмінності у ступені прояву алелопатичної активності, загальні тенденції її посилення чи послаблення залишалися подібними для обох регіонів. Зокрема, екстракти з коренів монарди двійчатої практично не впливали на розвиток кореневої системи крес-салату, тоді як екстракти з листків і суцвіть, особливо у фазу цвітіння, чітко гальмували їхній ріст. Цікавою є динаміка впливу екстрактів зі стебел: на початку відростання вони мали виражений інгібіторний ефект, у фазу бутонізації спостерігалася відсутність будь-якого впливу, а у період цвітіння виявлено лише слабку фітотоксичність (виняток становили рослини, вирощені в умовах м. Умань, де дія практично не проявлялася).

Важливими є також результати дослідження двох інших видів ароматичних культур – *D. moldavicum* L. та *H. officinalis* L. У ході аналізу активності водорозчинних виділень з їхніх органів встановлено суттєву варіативність показників залежно від фаз розвитку, проте закономірність змін залишалася стабільною незалежно від ґрунтово-кліматичних умов вирощування. На початкових етапах вегетації змієголовнику молдавського виявлено інгібування росту коренів крес-салату, яке поступово зменшувалося й майже зникало у фазу цвітіння. При цьому характер впливу залишався виключно гальмівним, незалежно від органу-донору чи умов вирощування. Єдиним винятком були екстракти з листків у варіантах, закладених у м. Умань, де у фазі початкового росту та бутонізації спостерігалися окремі випадки стимулювального ефекту. Паралельне вивчення динаміки накопичення летких екзометаболітів у різних органах змієголовнику молдавського підтвердило інгібіторний характер їхньої дії на тест-об'єкти, що узгоджується з попередніми результатами.

Щодо гісопу лікарського, то результати порівняльного аналізу активності його водорозчинних екстрактів продемонстрували доволі високий рівень фітотоксичності виділень як з надземних органів, так і з кореневої системи. Такий ефект проявлявся вже на початку росту і розвитку рослин, що свідчить про наявність потужного комплексу біологічно активних речовин. Заслужовують на особливу увагу й результати дослідження впливу екстрактів із різних органів гісопу: спектр дії алелопатичних колінів на тест-об'єкти проявлявся як у вигляді гальмування ростових процесів, так і у вигляді їх часткового стимулювання, що підкреслює складний і неоднозначний характер алелопатичних взаємодій у межах даного виду.

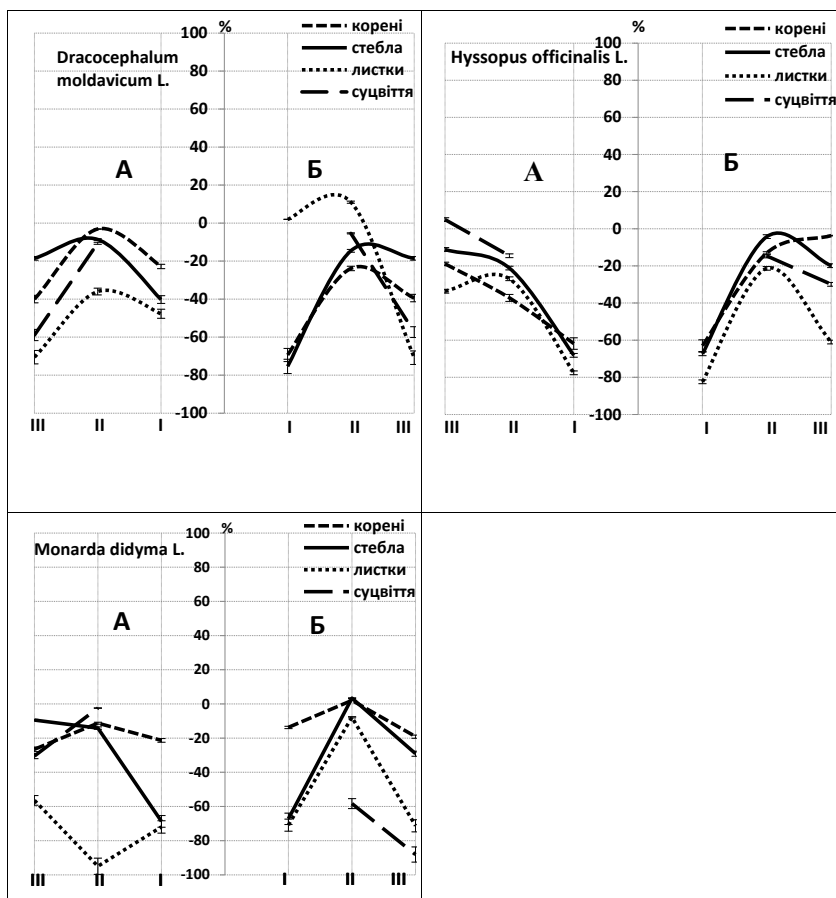


Рис. 1. Динаміка аделопатичної активності різних типів виділень з органів змієголовнику молдавського (біотест – корені крес-салату)

База проведення дослідження:

А – Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка (м. Київ);

Б – Національний університет (м. Умань).

Фази розвитку рослини:

I – початок розвитку; **II** – бутонізація; **III** – квітування.

Загалом, проведене узагальнення отриманих даних дає підстави стверджувати, що алелопатична активність водорозчинних виділень ароматичних рослин характеризується фазовою мінливістю, органо-специфічністю та залежністю від умов вирощування. Найчутливішим тест-об'єктом у всіх дослідях залишався крес-салат, що дозволяє використовувати його як надійний біоіндикатор при вивченні дії колінів. Одержані результати створюють наукову основу для подальшого використання алелопатичних властивостей досліджених культур у практиці екологічно орієнтованого рослинництва, а також для розроблення підходів до оптимізації структури агрофітоценозів із урахуванням їхніх алелопатичних взаємозв'язків

Отже, узагальнення результатів досліджень підтверджує, що алелопатична активність водорозчинних виділень ароматичних рослин має складний, багатогранний характер, що визначається як фазою онтогенезу, так і морфологічною специфікою органів-донорів. Виявлені закономірності дозволяють говорити про високу роль летких і водорозчинних екзометаболітів у формуванні міжвидових взаємодій у фітоценозах. Особливе значення має встановлена чутливість коренів крес-салату, що дає можливість розглядати його як універсальний біоіндикатор для оцінювання рівня фітотоксичності. Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що вони можуть бути використані для розроблення екологічно безпечних підходів до управління агрофітоценозами, підвищення їхньої стійкості та продуктивності за рахунок раціонального використання алелопатичного потенціалу культурних рослин. Таким чином, вивчення динаміки алелопатичної активності водорозчинних виділень є важливим не лише з теоретичної, а й з прикладної точки зору, оскільки створює передумови для впровадження у практику біологічно обґрунтованих технологій землеробства, спрямованих на збереження біорізноманіття та екологічну рівновагу агроландшафтів.

Ось варіант висновків до вашого матеріалу про алелопатію та роль фізіологічно активних сполук у біогеоценозі:

4. Висновки

1. Алелопатія є важливою складовою механізмів саморегуляції рослинних угруповань, забезпечуючи контроль росту, розвитку та просто-

рової організації видів через колообіг фізіологічно активних сполук, зокрема колінів.

2. Початкова стадія алелопатичного колообігу пов'язана з біосинтезом колінів у рослині-донорі, а завершальна – із поглинанням їх рослиною-акцептором та багатофункціональною фізіолого-біохімічною взаємодією у клітинах і тканинах.

3. Коренева система виконує подвійний функціональний обов'язок: як орган виділення біологічно активних речовин, так і як орган їх поглинання, що робить корені ключовим компонентом алелопатичних взаємодій у ґрунтовому середовищі.

4. Водорозчинні коліни та фенольні сполуки надходять у ґрунт через кореневі виділення, дощові змиви з листя, розклад опалих органічних решток, утворюючи постійний потік алелохімічних речовин, який регулює міжвидові взаємодії, структуру угруповань і біоценотичну рівновагу.

5. Дія колінів на рослини-акцептори є подвійною: низькі концентрації можуть стимулювати ріст і розвиток, а високі – пригнічувати проростання, фотосинтез, дихання та синтез ферментів, що визначає тонку регуляцію ростових процесів у фітоценозі.

6. Фенольні інгібітори, зокрема паракумаринова, таніни, хлорогенова та еллагова кислоти, відіграють ключову роль у підтриманні стабільності екосистем, контролюючи розвиток сусідніх рослин, формуючи структуру мікробіоти ґрунту та сприяючи природній саморегуляції угруповань.

7. Кореневі виділення забезпечують ризосферний ефект: вони стимулюють розвиток корисної мікрофлори, сприяють азотфіксації, покращують структуру ґрунту та підвищують біодоступність елементів живлення, а також можуть реалізовувати ризосферний «анти-ефект», пригнічуючи патогенні мікроорганізми та конкурентні види.

8. Міжкореневий обмін метаболітами та сигналами сприяє адаптивній пластичності угруповань, зменшує конкуренцію за ресурси та забезпечує стійкість агроекосистем до змінних абіотичних і біотичних факторів.

9. Леткі органічні сполуки та муцигель коренів відіграють важливу роль у регуляції фізико-хімічних властивостей ґрунту, формуванні мікробних угруповань та міжвидових взаємодій, що підкреслює комп-

лексну роль рослинних виділень у підтриманні продуктивності і стабільності екосистем.

10. З практичної точки зору, знання механізмів алелопатії та ролі фізіологічно активних сполук відкриває можливості для оптимізації сівозмін, підбору стійких культур, управління біологічною активністю ґрунту та екологічно безпечного контролю агроекосистем.

Список літератури:

1. Ахметьянова, Ю. М., Камалетдинова, Л. М., Байтурина, Р. Р. Роль зелених насаджень у поліпшенні екологічних умов міського середовища / Ю. М. Ахметьянова, Л. М. Камалетдинова, Р. Р. Байтурина // Актуальні дослідження. – 2023. – № 9 (139). Ч. 1. – С. 80–83. – URL: <https://apni.ru/article/5732-rol-zelenikh-nasazhdenij-v-uluchshenii-ekolog>
2. Горобець, С. А. Фізіолого-біохімічні особливості овочевих рослин в умовах субстратоутримання : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спец. 03.00.12 «Фізіологія рослин» / С. А. Горобець. – Київ, 1982. – 18 с.
3. Гродзинський А. М. Алелопатія рослин і ґрунтовтома: [вибр. твори] / А. М. Гродзинський ; вступ. ст. Е. А. Головка, В. В. Кваша. – Київ : Наукова думка, 1991. – 432, [2] с.
4. Гродзинський, А. М. Фітонциди і фітодизайн / А. М. Гродзинський // Фітонциди : зб. наук. праць / за ред. А. М. Гродзинського. – Київ : Наукова думка, 1981. – С. 180–185.
5. Гродзинський, А. М., Головка, Е. А., Безменов, А. Я. та ін. Взаємодія летких виділень у замкненій екосистемі. – Київ : Наукова думка, 1992. – 127 с.
6. Дідик, Н. П. Фітоценотичний аналіз *Elytorgia repens* (L.) Nevski та його алелопатичні особливості : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спец. 03.00.05 «Ботаніка» / Н. П. Дідик. – Київ, 2001. – 19 с.
7. Дробітко, А., Манушкіна, Т., Самоїленко, М., Бондар, А. Стан і перспективи виробництва ефірних олій в Україні та світі / А. Drobitchko, T. Manushkina, M. Samoilenko, A. Bondar // Grassroots Journal of Natural Resources. – 2025. – Vol. 8, № 1. – С. 894–918. – DOI: <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.080138>
8. Логвиненко, Б. В. Адміністративно-правове регулювання практики народної медицини (цілітельства) в Україні / Б. В. Логвиненко // Вісник Дніпропетровського державного університету внутрішніх справ. – 2021. – № 6. – С. 251–255. – DOI: <https://doi.org/10.31733/2078-3566-2021-6-251-255>
9. Мар'юшкіна, В. Я. Демекологія інвазійних рослин в агроекосистемах та шляхи оптимізації антропозованих екосистем : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора с.-г. наук : спец. 03.00.16 «Екологія» / В. Я. Мар'юшкіна. – Київ, 2003. – 31 с.
10. Мацкевич В. В., Філіпова Л. М., Олешко О. Г. Фізіологія та біотехнологія рослин : підручник / В. В. Мацкевич, Л. М. Філіпова, О. Г. Олешко. – Біла Церква : Білоцерківський національний аграрний університет, 2022. – 427 с.

11. Машковська, С. П. Алелопатичні та біохімічні особливості видів роду Чорнобривці (*Tagetes* L.) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спец. 03.00.12 «Фізіологія рослин» / С. П. Машковська. – Київ, 2002. – 22 с.
12. Міщенко, О. В. Біолого-екологічні особливості ехінацеї пурпуро-вої (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) в умовах Лісостепу України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : спец. 03.00.16 «Екологія» / О. В. Міщенко. – Київ, 2007. – 20 с.
13. Мороходж, В., Ерас, О., Рохас, Т., Хіменес, Б., Роа, М. Ф., & Картуче, Л. Біологічна активність та хімічний склад ефірної олії з листя та плодів *Zanthoxylum manto* (J.F.Macbr.) J.F.Macbr. / V. Morocho, O. Eras, T. Rojas, B. Jiménez, M. F. Roa, L. Cartuche // *Antibiotics*. – 2025. – Vol. 14, No. 3. – Art. 216. – DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics14030216>
14. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин : підручник / Мусієнко М. М. – К. : Фітосоціоцентр, 2001. – С. 244–247.
15. Орел, Л. В. Алелопатично активні сполуки бур'янів та наукові принципи розробки фіторегуляторів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора с.-г. наук : спец. 03.00.16 «Екологія» / Л. В. Орел. – Київ, 2004. – 33 с.
16. Пузік, В. К. Алелопатична дія екзометаболітів культурних злаків у агрофітоценозах : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора с.-г. наук : спец. 03.00.16 «Екологія» / В. К. Пузік. – Київ, 2004. – 35 с.
17. Радіоза, С. А. Агроекологічні та алелопатичні властивості рослин роду *Calendula* L. : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спец. 03.00.16 «Екологія» / С. А. Радіоза. – Київ, 2008. – 20 с.
18. Рись М. В. Визначення строків сівби та терміну зберігання насіння видів роду *Monarda* L. в умовах інтродукції в південному Лісостепу України / М. В. Рись // *Інтродукція рослин*. – 2006. – № 1. – С. 64–67.
19. Юрчак, Л. Д., Юношева, Є. П., Кудренко, І. К., Гнатюк, Н. А. Еколого-алелопатичні аспекти дослідження інтродукованих ароматичних рослин та перспективи їх використання / Л. Д. Yurchak, E. P. Yunosheva, I. K. Kudrenko, N. A. Hnatiuk // *Інтродукція і селекція ароматичних та лікарських рослин : міжнар. наук.-практ. конф.*, 8–12 черв. 2009 р. : тези допов. – Ялта, 2009. – С. 225–226.
20. Asher C. J. Beneficial elements, functional nutrients and possible new essential elements // *Micronutrient in agriculture*. – Washington, Madison : Soil Science Society of America, 1991. – P. 703–723.
21. Augerès A.-L., Eyrolles L., Bozec Y., Dufour A. Regulation of Redfield ratios in the deep ocean // *Global Biogeochemical Cycles*. – 2015. – Vol. 29. – P. 1147–1160.
22. Carta, C., Moretti, M. D. L., & Peana, A. T. Activity of the oil of *Salvia officinalis* against *Botrytis cinerea* // *Journal of Essential Oil Research*. – 1996. – Vol. 8. – P. 399–404.
23. Gifford M. L. Root architecture and rhizosphere–microbe interactions // *Journal of Experimental Botany*. – 2024. – Vol. 75, Issue 2. – P. 503–518. – doi:10.1093/jxb/erz496.

24. Grümmer H. Mutual influence of higher plants. Allelopathy / H. Grümmer ; transl. from English by A. M. Grodzinsky. – Moscow : Foreign Literature Publishing House, 1957. – 261 p.
25. Hrodzynskiyi A. M. Alelopatiiia roslyn i hruntovtoma: [vybr. tvory] / A. M. Hrodzynskiyi ; vstup. st. E. A. Holovka, V. V. Kvasha. – Kyiv : Naukova dumka, 1991. – 432, [2] s.
26. Kabonen A., Ryazantsev P., Sukhanov Y., Kuvshinov D., Dimitrov V. Study of tree root system development using 3D modeling // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 126. – Article 01041. – 7 p.
27. Lei X., Shen Y., Zhao J., Huang J., Wang H., Yu Y., Xiao C. Root exudates mediate the processes of soil organic carbon input and efflux // Plants. – 2023. – Vol. 12. – Art. 630. – 16 p.
28. Okrushko S. I. Influence of aquatic extracts from the rhizomes of *Elytrigia repens* L. on the progress of maize seeds germination // Agriplant. – 2022. – Vol. 1, № 1. – P. 1–8. – DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6543210>
29. Robert C. A. M., York L. M., Comas L., Zheng Y., Gray L. E. Environmental and Biological Drivers of Root Exudation // Annual Review of Plant Biology. – 2025. 76 p.
30. Seasonal variation of volatile organic compounds exchange above a periurban Holm oak forest on the Mediterranean coast (2015) – Savi, Flavia; Juráň, Stanislav; Fares, Silvano.
31. Shu Zhang, Shumin Li, Lingbo Meng, Xiaodan Liu, Yuhang Zhang, Shuchang Zhao, Haobing Zhao. Root exudation under maize/soybean intercropping system mediates the arbuscular mycorrhizal fungi diversity and improves the plant growth // Frontiers in Plant Science. – 2024. – Vol. 15 : Article 1375194. – 10 p.
32. Singh, P. N., Armi, S., Singh, G. Алелопатичний ефект настою з опалого листя *Eucalyptus citriodora* Hook. на проростання і ріст сіяньців пшениці, гороху та топії / P. N. Singh, S. Armi, G. Singh // Allelopathy in Agroecosystems. – Hisar, 1992. – P. 105–107.
33. Zambelli A., et al. Unveiling the Multifaceted Roles of Root Exudates // Agronomy. – 2025. – Vol. 15, № 4. – 845.
34. Blande, J. D., Holopainen, J. K., & Niinemets, Ü. (2014). Plant volatiles in polluted atmospheres: stress responses and signal degradation. *Plant, Cell & Environment*, 37(8), 1892–1904. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/pce.12352>
35. Schade, G. W., & Goldstein, A. H. (2002). Plant physiological influences on the fluxes of oxygenated volatile organic compounds from ponderosa pine trees. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D10), ACH2-1–ACH2-9. DOI: <https://doi.org/10.1029/2001JD000532>
36. Тульчинська, В. П., Юргелайтіс, Н. Г. Рослини – проти мікробів / В. П. Тульчинська, Н. Г. Юргелайтіс. – [2-е вид., перероб. і доп.]. – Київ : Урожай, 1981. – 64 с.
37. Mooney, H. A., Gulmon, S. J. Environmental and biological constraints of leaf structure and function in reference to herbivore / H. A. Mooney, S. J. Gulmon // BioScience. – 1982. – Vol. 32. – P. 198–206.

References:

1. Asher C. J. Beneficial elements, functional nutrients and possible new essential elements // *Micronutrient in agriculture*. – Washington, Madison : Soil Science Society of America, 1991. – P. 703–723.
2. Grümmer H. Mutual influence of higher plants. Allelopathy / H. Grümmer ; transl. from English by A. M. Grodzinsky. – Moscow : Foreign Literature Publishing House, 1957. – 261 p.
3. Matskevych V. V., Filipova L. M., Oleshko O. H. Fiziolohiia ta biotekhnolohiia roslyn : pidruchnyk / V. V. Matskevych, L. M. Filipova, O. H. Oleshko. – Bila Tserkva : Bilotserkivskiy natsionalnyi ahrarnyi universytet, 2022. – 427 s.
4. Shu Zhang, Shumin Li, Lingbo Meng, Xiaodan Liu, Yuhang Zhang, Shuchang Zhao, Haobing Zhao. Root exudation under maize/soybean intercropping system mediates the arbuscular mycorrhizal fungi diversity and improves the plant growth // *Frontiers in Plant Science*. – 2024. – Vol. 15 : Article 1375194. – 10 p.
5. Augerès A.-L., Eyrolles L., Bozec Y., Dufour A. Regulation of Redfield ratios in the deep ocean // *Global Biogeochemical Cycles*. – 2015. – Vol. 29. – P. 1147–1160.
6. Lei X., Shen Y., Zhao J., Huang J., Wang H., Yu Y., Xiao C. Root exudates mediate the processes of soil organic carbon input and efflux // *Plants*. – 2023. – Vol. 12. – Art. 630. – 16 p.
7. Robert C. A. M., York L. M., Comas L., Zheng Y., Gray L. E. Environmental and Biological Drivers of Root Exudation // *Annual Review of Plant Biology*. – 2025.
8. Zambelli A., et al. Unveiling the Multifaceted Roles of Root Exudates // *Agronomy*. – 2025. – Vol. 15, № 4. – 845.
9. Gifford M. L. Root architecture and rhizosphere–microbe interactions // *Journal of Experimental Botany*. – 2024. – Vol. 75, Issue 2. – P. 503–518. – DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erz496>
10. Kabonen A., Ryazantsev P., Sukhanov Y., Kuvshinov D., Dimitrov V. Study of tree root system development using 3D modeling // *BIO Web of Conferences*. – 2024. – Vol. 126. – Article 01041. – 7 p.
11. Okrushko S. I. Influence of aquatic extracts from the rhizomes of *Elytrigia repens* L. on the progress of maize seeds germination // *Agriplant*. – 2022. – Vol. 1, № 1. – P. 1–8. – DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6543210>
12. Hrodzynskiy, A. M. Fitontsydy i fitodyzain / A. M. Hrodzynskiy // *Fitontsydy : zb. nauk. prats / za red. A. M. Hrodzynskoho*. – Kyiv : Naukova dumka, 1981. – S. 180–185.
13. Carta, C., Moretti, M. D. L., & Peana, A. T. Activity of the oil of *Salvia officinalis* against *Botrytis cinerea* // *Journal of Essential Oil Research*. – 1996. – Vol. 8. – P. 399–404.
14. Hrodzynskiy, A. M., Holovko, E. A., Bezmenov, A. Ya. ta in. *Vzaiemodiia letkykh vydelen u zamknenii ekosystemi*. – Kyiv : Naukova dumka, 1992. – 127 s.
15. Seasonal variation of volatile organic compounds exchange above a periurban Holm oak forest on the Mediterranean coast (2015) – Savi, Flavia; Jurán, Stanislav; Fares, Silvano.

16. Musiienko M. M. Fiziolohiia roslyn : pidruchnyk / Musiienko M. M. – K. : Fitosotsiotsentr, 2001. – S. 244–247
17. Drobitchko, A., Manushkina, T., Samoilenko, M., Bondar, A. Stan i perspektyvy vyrobnytstva efirnykh olii v Ukraini ta sviti / A. Drobitchko, T. Manushkina, M. Samoilenko, A. Bondar // *Grassroots Journal of Natural Resources*. – 2025. – Vol. 8, № 1. – S. 894–918. – DOI: <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.080138>
18. Rys M. V. Vyznachennia strokiv sivby ta terminu zberihannia nasinnia vydiv rodu *Monarda L.* v umovakh introduksii v pivdennomu Lisostepu Ukrainy / M. V. Rys // *Introduktsiia roslyn*. – 2006. – № 1. – S. 64–67.
19. Singh, P. N., Armi, S., Singh, G. Alelopatychnyi efekt nastoiu z opaloho lystia *Eucalyptus citriodora Hook.* na prorostannia i rist shiintsiv pshenytsi, horokhu ta torii / P. N. Singh, S. Armi, G. Singh // *Allelopathy in Agroecosystems*. – Hisar, 1992. – S. 105–107.
20. Lohvynenko, B. V. Administratyvno-pravove rehuliuвання praktyky narodnoi medytsyny (tsilytelstva) v Ukraini / B. V. Lohvynenko // *Visnyk Dnipropetrovskoho derzhavnoho universytetu vnutrishnikh sprav*. – 2021. – № 6. – S. 251–255. – DOI: <https://doi.org/10.31733/2078-3566-2021-6-251-255>
21. Morokhodzh, V., Eras, O., Rokhas, T., Khimenes, B., Roa, M. F., & Kartuche, L. Biolohichna aktyvnist ta khimichni sklad efirnoi olii z lystia ta plodiv *Zanthoxylum mantaro* (J.F.Macbr.) J.F.Macbr. / V. Morocho, O. Eras, T. Rojas, B. Jiménez, M. F. Roa, L. Cartuche // *Antibiotics*. – 2025. – Vol. 14, No. 3. – Art. 216. – DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics14030216>
22. Akhmetianova, Yu. M., Kamaletdynova, L. M., Baituryna, R. R. Rol zelenykh nasazhchen u polipshenni ekolohichnykh umov miskoho seredovyshcha / Yu. M. Akhmetianova, L. M. Kamaletdynova, R. R. Baituryna // *Aktualni doslidzhennia*. – 2023. – № 9 (139). Ch. I. – S. 80–83. – URL: <https://apni.ru/article/5732-rol-zelenikh-nasazhdenij-v-uluchshenii-ekolog>
23. Yurchak, L. D., Yunosheva, Ye. P., Kudrenko, I. K., Hnatiuk, N. A. Ekoloho-alelopatychni aspekty doslidzhennia introdokovanykh aromatychnykh roslyn ta perspektyvy yikh vykorystannia / L. D. Yurchak, E. P. Yunosheva, I. K. Kudrenko, N. A. Hnatiuk // *Introduktsiia i selektsiia aromatychnykh ta likarskykh roslyn : mizhnar. nauk.-prakt. konf., 8–12 cherv. 2009 r. : tezy dopov.* – Yalta, 2009. – S. 225–226.
24. Mariushkina, V. Ya. Demekolohiia invaziinykh roslyn v ahroekosystemakh ta shliakhy optymizatsii antropizovanykh ekosystem : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia doktora s.-h. nauk : spets. 03.00.16 «Ekolohiia» / V. Ya. Mariushkina. – Kyiv, 2003. – 31 s.
25. Horobets, S. A. Fizioloho-biokhimichni osoblyvosti ovochevykh roslyn v umovakh substratoutomlennia : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. biol. nauk : spets. 03.00.12 «Fiziolohiia roslyn» / S. A. Horobets. – Kyiv, 1982. – 18 s.
26. Puzik, V. K. Alelopatychna diia ekzometabolitiv kulturnykh zlakiv u ahrofitosenozakh : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia doktora s.-h. nauk : spets 03.00.16 «Ekolohiia» / V. K. Puzik. – Kyiv, 2004. – 35 s.

27. Mashkovska, S. P. Alelopatychni ta biokhimichni osoblyvosti vydiv rodu Chornobryvtsi (*Tagetes* L.) : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. biol. nauk : spets. 03.00.12 «Fiziolohiia rosllyn» / S. P. Mashkovska. – Kyiv, 2002. – 22 s.

28. Didyk, N. P. Fitotsenotychnyi analiz *Elytrigia repens* (L.) Nevski ta yoho alelopatychni osoblyvosti : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. biol. nauk : spets. 03.00.05 «Botanika» / N. P. Didyk. – Kyiv, 2001. – 19 s.

29. Orel, L. V. Alelopatychno aktyvni spoluky burianiv ta naukovy pryntsypy rozrobky fitorehulatoriv : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia doktora s.-h. nauk : spets. 03.00.16 «Ekolohiia» / L. V. Orel. – Kyiv, 2004. – 33 s.

30. Mishchenko, O. V. Bioloho-ekolohichni osoblyvosti ekhinatsei purpurovoi (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) v umovakh Lisostepu Ukrainy : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. s.-h. nauk : spets. 03.00.16 «Ekolohiia» / O. V. Mishchenko. – Kyiv, 2007. – 20 s.

31. Radioza, S. A. Ahroekolohichni ta alelopatychni vlastyvosti rosllyn rodu *Calendula* L. : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. biol. nauk : spets. 03.00.16 «Ekolohiia» / S. A. Radioza. – Kyiv, 2008. – 20 s.