

## Алелопатична активність рослин *Hyssopus officinalis* L.

**Анотація.** Необхідність у фітомеліорації спонукає на введення у культуру рослин, які не тільки будуть мати декілька напрямків використання отриманої сировини, але й сприяти оздоровленню ґрунтів та бути добрим попередником для подальшого успішного вирощування наступних за ними сільськогосподарських культур. Відомо, що ефіроолійні культури активізують розвиток корисної мікробіоти та запобігають ґрунтовтомі. В статті наведено результати досліджень впливу на алелопатичну активність частин рослин гісопу лікарського (*Hyssopus officinalis* L.) сорту Маркіз з врахуванням вікових особливостей в умовах змін клімату півдня України. Метою роботи було виявити вплив алелопатичної активності водних екстрактів листків, стебел та квіток гісопу, ґрунту у зоні ризосфери та віку рослин на ріст коренів крес-салату. У процесі дослідження використовували емпіричні методи, зокрема експеримент. В результаті проведених досліджень з культурою гісопу лікарського першого, другого та третього років вегетації на базі дослідного поля Миколаївського національного аграрного університету впродовж 2019-2021 років виявлено оптимальну концентрацію водних екстрактів культури зі стимулюючим ефектом. Показана залежність алелопатичної активності водорозчинних біологічно активних речовин надземних органів рослин гісопу лікарського і виявлено концентрацію розчину, яка визиває інгібуючий ефект. Так найбільш висока алелопатична активність відмічалась на варіанті з використанням квіток гісопу лікарського рослин другого року вегетації в концентрації 1:10. Водні розчини шару ґрунту кореневої системи де зростали рослини гісопу лікарського третього року вегетації мають інгібуючий ефект на лінійний приріст коренів крес-салату. Найбільшою вона була у варіанті листок + стебло при концентрації водного розчину 1:10. Це говорить про те, що необхідно використовувати культуру гісопу лікарського в сівозміні обережно враховуючи її особливості онтогенезу. Отримані результати матимуть практичне застосування у підприємствах різних форм власності які будуть мати бажання вирощувати культуру гісопу лікарського та використовувати його в структурі сівозміни

**Ключові слова:** гісоп лікарський, крес-салат, водні екстракти, концентрація розчину, алелопатія, стимулювання, інгібуючий ефект

### Вступ

Такі наслідки зміни клімату, як підвищення середньорічних температур, часті та інтенсивні посухи, а також активне, часто не обдумане впровадження прогресивних агротехнологій призводять до погіршення властивостей та втрати родючості ґрунту. Тому існує необхідність у пошуку ефективних рішень щодо відновлення оптимальних умов для вирощування сільськогосподарських культур. Одним із таких рішень може стати застосування фітомеліорації, яка значно покращує фізичні властивості ґрунту, посилюючи його біологічну активність та збільшуючи в ньому вміст гумусу, що позитивно впливає на продуктивність та врожайність рослин (Airova, Abdykadyrova & Kurmanbayev, 2020).

Останнім часом актуальними є дослідження спрямовані на використання ефіроолійних лікарських рослин як фітомеліорантів, що синтезують специфічні вторинні метаболіти, в основному фенольної природи. Наприклад, Л.М. Михальська (2018) експериментально встановила можливість очищення ґрунтів, забруднених металами, поліпшення їх екологічного стану за допомогою такої рослини, як лаванда вузьколиста. На думку А. Шахіда (2021), кореневі виділення гірчиці білої зменшують нагромадження в ґрунті таких поширених захворювань, як фітофтороз, ризоктоніоз, фузаріозних гнилей тощо.

Специфікою лікарських рослин є те, що до їх складу входять різноманітні біологічно активні речовини, які можуть виділятися у навколишнє середовище, а їх тип, вміст та частка впливати на ріст і розвиток рослин, що знаходяться в одному з ними агрофітоценозі. До

таких фітохімічних речовин відносяться фенольні сполуки, алкалоїди, флавоноїди, таніни, смоли та бальзами, ефірні олії тощо. Але особливої уваги заслуговують терпеноїди – вторинні метаболіти, що впливають на смак плодів, колір листків та запах квіток і є основним компонентом рослинних ефірних олій. Терпеноїди, що виробляються рослинами, захищають їх від грибкових захворювань, комах та тварин. Одним з шляхів потрапляння терпеноїдів у ґрунт є рослинні кореневі виділення (Корнієнко та ін., 2021). Ефірні олії мають високу летючість в атмосферному повітрі (Гродзінський, 1992). Фітомеліорація значно покращує агрохімічні, агрофізичні та біологічні показники ґрунту. За дослідями вчених, ефірна олія рослин, що відносяться до родини *Lamiaceae*, суттєво знижують чисельність фітонематод. Найбільш чутливою є ґрунтова стадія бруньковидної нематоди (Abd-Elgawad & Omer, 1995). В умовах Миколаївської області гісоп лікарський, як ефіроолійна культура, що пристосована до екстремальних ґрунтово-кліматичних умов півдня України, може вирощуватися для рекультивації деградованих ґрунтів, на техногенно-забруднених територіях для локального озеленення, на солонцюватих ґрунтах з метою покращення екосистем (Dobrovolskyi et al., 2021).

Коренева ексудация – важливий процес, що визначає взаємодію рослин з ґрунтовим середовищем та є основним компонентом розподілу вуглецю у ґрунті. Коренева ексудация є складним явищем, що охоплює процеси, які керують транспортом вуглецю до коренів і ексудациєю з коренів у ґрунт. Цей процес оптимізує зростання коренів, щоб сприяти ефективному пошуку поживних речовин і, можливо, виявлення конкуруючих сусідів. До корневих ексудатів відносяться ризодепозити, що складаються з цукрів, органічних кислот, амінокислот тощо. Особливість багаторічних рослин полягає у тому, що з роками у процесі вирощування вони утворюють мортмасу, яка формує специфічну мікробіоту, що не тільки активізує процеси в ґрунті, але й змінює його властивості. При беззмінному вирощуванні таких культур відбувається накопичення фітопатогенів та токсигенів, які негативно впливають на реалізацію біологічного потенціалу рослини, що культивується після попередньої (Canarini et al., 2019). Експеримент японських вчених показав, що сумісні насадження томату (*Solanum Lycopersicum*) з рослинами родини *Lamiaceae* покращують ріст та розвиток рослин томату, завдяки зміні вторинних метаболітів й амінокислот рослини. Тобто кореневі ексудати *Lamiaceae* змінюють властивості ґрунту та позитивно впливають на його мікробіоту (Ahmad et al., 2020).

Необхідно дослідити не тільки використання алелопатії ефіроолійних культур у сільському господарстві, але й встановити детермінанти, що можуть завадити її позитивному впливу на ріст та розвиток рослин. Відмінною особливістю рослин родини *Lamiaceae*, до якої відноситься й гісоп, є ароматичність, що доводить присутність терпенів та їх кисневмісних похідних. До того ж рослини вміщують глікозиди, сапоніни, смоли та алкалоїди (Islam Mominul et al., 2022). З часом, накопичення цих хімічних речовин може мати й токсичний потенціал.

Виходячи з вищенаведеного, метою було вивчити вплив віку, частин рослин та їх корневих виділень залежно від концентрації розчину на алелопатичну активність водорозчинних біологічно активних речовин і встановити його стимулюючий та інгібуєчий ефект.

Завданнями, що сприяли реалізації поставленої мети були:

- дослідити алелопатичну активність надземних органів рослини гісопу та його кореневмісного шару ґрунту;
- порівняти алелопатичну активність отриманих водних екстрактів щодо тест-об'єкта;
- визначити алелопатичну активність водних екстрактів надземних органів рослини гісопу залежно від віку та кореневмісного шару ґрунту щодо тест-об'єкта.

### Огляд літератури

У зв'язку з активним вирощуванням ефіроолійних культур, в тому числі гісопу лікарського, актуальним є вивчення їх впливу на інші види рослин, тому науковці розпочали дослідження

їх алелопатичних властивостей. За даними M. Shinvari, M. Shinwari, Y. Fujii (2013) 70 видів японських рослин були обстежені щодо алелопатії з використанням методу водної екстракції. Вчені зробили висновок, що перед початком широкомасштабного вирощування будь-якої лікарської рослини на встановленому сільськогосподарському полі рослину слід оцінити алелопатично, оскільки хімічний вплив попередніх рослин, залишків, пов'язаних рослин і навіть аутокотоксичність можуть негативно вплинути на систему врожаю. Результати дослідів болгарських вчених показують, що водні настої гісопу містять вторинні метаболіти, що виявляють алелопатичні ефекти на ранніх стадіях росту інших рослин у лабораторних умовах (Dragoeva et al., 2010). Інші досліді демонструють, що ефірна олія гісопу виявляла алелопатичний ефект і пригнічували проростання насіння та розвиток сходів пшениці та ячменю (Zheljazkov et al., 2021). Але гісоп лікарський, який культивувався в екстремальних умовах півдня України, майже не досліджувався.

По розумінню А.М. Гродзинського (1992) стосовно алелопатії, основним питанням біологічного явища, у якому організм виробляє одну чи кілька біохімічних речовин, що впливають на проростання, ріст, виживання та розмноження інших організмів із тієї самої спільноти є дослідження колінів – їх концентрації та хімічного складу. При чому досліджувати потрібно всі етапи кругообігу – в рослинних виділеннях та опаді, в ризосферній мікрофлорі та їх алелопатичний вплив на фітоценоз. Вчений вважав, що коліни мають складну хімічну природу, тому їх присутність та алелопатичну активність потрібно визначати за допомогою біопроб. Так як кожна рослина може бути, як продуцентом - донором фізіологічно-активних речовин, так й реципієнтом – їх споживачем, то відповідно рослина може створювати як захисну біологічну сферу, або бути алелопатично активною, так й адаптуватися до присутності колінів у середовищі, тобто бути алелопатично толерантною. Ці особливі властивості дозволяють з'ясувати можливість використання такої рослини у сумісних посівах або її здатність до пригнічення росту та розвитку бур'янів. Нагромаджуючи та виділяючи коліни у навколишнє середовище, рослина створює навколо себе алелопатичну сферу (Гродзинський, 1992; Аірова та ін., 2020; Гродзинський, 1991).

Рослинні угруповання накопичують коліни до певного рівня, що визначає активність їх росту та розвитку. Існує залежність між продукцією колінів та нагромадженням біомаси рослин: вище рівень колінів – погіршення росту компонентів угруповання. Зменшення продукції колінів послаблює ріст та нагромадження біомаси рослини (Canarini et al., 2019).

Таким чином, алелопатичну активність рослини визначають такі головні властивості, як утворення, здатність до нагромадження та виділення у навколишнє середовище колінів, а алелопатичну толерантність - стійкість до виділень інших рослин або своїх власних (Storozhyk, 2019). Метод мічених атомів підтвердив наявність корневих виділень (Laurent Simon et al., 2019; Čeranić et al., 2020; Vivanco et al., 2012).

Але потрібно враховувати, що існують методичні труднощі при визначенні алелопатичних властивостей рослини. Також алелопатія відзначається своєю непостійністю в природних умовах (Cheng et al., 2015).

Алелопатія – природне явище, яке має значний вплив на функціонування біоценозів. Феномен алелопатії включає різні типи хімічних взаємодій між організмами і здійснюється шляхом утворення і виділення ними в середовище метаболітів, що мають алелопатичну активність (Polyak et al., 2019; Асі та ін., 2022; Hussain et al., 2021). Термін “алелопатія” частіше всього використовується для характеристики взаємовідносин між рослинами, але він також широко використовується для опису взаємовідносин поміж мікроорганізмами та між рослинами і мікроорганізмами (Кучерявий, 2020; Zorikova та ін., 2017)

За хімічним складом алелопатичні речовини варіюють від простих вуглеводів до складних поліциклічних ароматичних фенолів, терпенів, флавоноїдів, поліацетиленів, жирних кислот. Алелопатичні речовини грають важливу роль у захисті рослин (Reigosa et al., 2010; Khalid, 2002).

Алелопатія зв'язана з конкуренцією за ресурси і в значній мірі залежить від багатьох факторів таких як, структура ґрунту, вологість, температура, частини рослини, вік рослин,

наявність поживних речовин, концентрація алелокомпонентів та їх стійкість (Cira, 2021; Amb et al., 2016).

### Матеріали та методи

Дослідження за модельних експериментів перспективного для вирощування в умовах південного степу України гісопу лікарського сорту Маркіз проводили з рослинами першого, другого та третього років вегетації впродовж 2019-2021 років на базі лабораторій Миколаївського національного аграрного університету. Рослинну сировину, тобто надземну частину гісопу лікарського, відбирали у фазу повного цвітіння рослин, тому що саме ця фаза є найбільш показовою щодо прояву алелопатичної активності. Алелопатичну активність у водорозчинних виділень рослин гісопу лікарського (*Hyssopus officinalis* L.) визначали за загальноприйнятою методикою А.М. Гродзинського (1991) за допомогою біологічних тестів. Тестовою культурою були вибрані проростки крес-салату (*Lepidium sativum* L.) однакові за розміром та з одного врожаю. Вибір був зумовлений тим, що крес-салат має високу схожість насіння, тому є більш чутливим до зовнішніх чинників. Наступної доби після закладки спостерігалось проростання насіння тестової культури. Дослідження проводили у лабораторних умовах за температури +23 °С та відносній вологості повітря 60-70%. Для виявлення алелопатичних властивостей гісопу використовували водні екстракти різних концентрацій з листків, стебел та квітів рослини у фазі цвітіння. Основним місцем проявлення алелопатичних відношень є ґрунт (Scavo et al., 2019). Тому досліджували й кореневмісний шар ґрунту гісопу лікарського. Проби ґрунту для проведення досліджень відбирали у зоні ризосфери рослин гісопу, у ясну погоду.

Для отримання водних екстрактів свіжий рослинний матеріал подрібнювали та настоювали у дистильованій воді протягом однієї доби. Після настоювання водний екстракт фільтрували. Для проведення досліджень використовували водний екстракт ґрунту концентрацією 1:10, 1:50, 1:100. У досліді використовували водні екстракти з листків, стебел та квіток гісопу лікарського концентрацією 1:10, 1:50, 1:100.

Насіння крес-салату пророщувалися на зволоженому екстрактами гісопу лікарського фільтрувальному папері у етикетованих чашках Петрі в темному термостаті за температури 25°C у кількості 100 штук на кожен варіант досліді, які проводили у 3-разовій повторності. Контрольні тест-об'єкти пророщувалися за зволоження дистильованою водою. Відстань між сусіднім насінням була приблизно однаковою.

Для визначення впливу водних екстрактів різної концентрації на тест-об'єкт вимірювали лінійкою довжину коренів *Lepidium sativum* L. з точністю до 1 мм. Приріст розраховували у відсотках до приросту довжини коренів контрольних проростків, що були поміщені у дистильовану воду, методами математичної статистики (Рожков та ін., 2016).

Для покращення аналізу алелопатичних даних визначили RI, response index, або індекс інгібування, що характеризує вектор та відносну величину впливу алелопатичних речовин на швидкість росту проростків крес-салату, за Вільямсоном таким чином:

$$RI = 1 - \left( \frac{K}{B} \right)$$

– якщо  $B > K$ , то  $RI = 1 - \left( \frac{K}{B} \right)$   
– якщо  $B < K$ , то  $RI = \left( \frac{K}{B} \right) - 1$

При цьому В – морфометричний показник зародка в досліді, К – морфометричний показник зародка в контролі.

Стимуловальний ефект відбувається за значення  $RI > 0$ , гальмувальний ефект відбувається за значення  $RI < 0$  (Williamson & Richardson, 1988).

### Результати та обговорення

В процесі росту та розвитку рослини накопичують коліни, які виділяють у навколишнє середовище, утворюючи алелопатичну сферу навколо себе. Алелопатична активність рослини відбувається у межах її навколишнього простору – фітогенного поля. Алелохімічними речовинами можуть бути первинні та вторинні метаболіти рослин, що

виробляються у процесі їх розвитку та залежать від умов навколишнього середовища. В рослинних угрупованнях існує алелопатична взаємодія (Dragoeva et al., 2010; Hussain et al., 2021). Але алелопатична активність залежить як від ґрунтово-кліматичних умов вирощування, так й від особливостей виду рослини (Гродзинський, 1991).

На думку N.V. Zaimenko, N.A. Pavlyuchenko, N.P. Didyk, N.E. Ellanska, & B.O. Ivanytska, (2021), під впливом мікрофлори та мікрофауни у ґрунті відбувається трансформація алелопатично активних речовин, що в свою чергу змінюють склад та чисельність мікробіоти ґрунту. Під впливом алелопатичних речовин змінюються фізичні та хімічні процеси в ґрунті, які впливають на ріст та розвиток рослин. Таким чином, кожна рослина отримує хімічні сигнали, що регулюють її ріст та розвиток. M. Reigosa, N. Pedrol, & L. González (2010) вважають, що алелопатія в агроекосистемах призводить до широкого спектру взаємодій між культурами. Як правило, така взаємодія призводить до проблеми ґрунтової хвороби або може викликати аутоксичність, що несприятливо вплине на врожайність сільськогосподарської культури. Але також науковці не виключають й що алелохімічні речовини можуть бути використаними на практиці, наприклад, для боротьби з бур'янами та шкідниками.

Дослід визначав активність колінів в алелопатичній сфері гісопу лікарського сорту Маркіз, що дає можливість проаналізувати і визначити його вплив на ґрунт при беззмінному вирощуванні та застосування цієї рослини як попередника.

Отримані результати доводять, що вік гісопу лікарського впливає на алелопатичну активність рослини відносно проростання насіння крес-салату. Виявлено як стимулювальну так і гальмувальну дію водних розчинів гісопу на схожість насіння тест-об'єкта.

На протязі 2019-2021 років спостерігалось накопичення колінів у ризосфері гісопу лікарського сорту Маркіз, які мають як стимулюючий, так й інгібуєчий ефект на проростання насіння крес-салату (Таблиця 1).

**Таблиця 1.** Вплив кореневих виділень рослин гісопу різних років вегетації у фазі цвітіння на приріст коренів крес-салату (розведення 1:100)

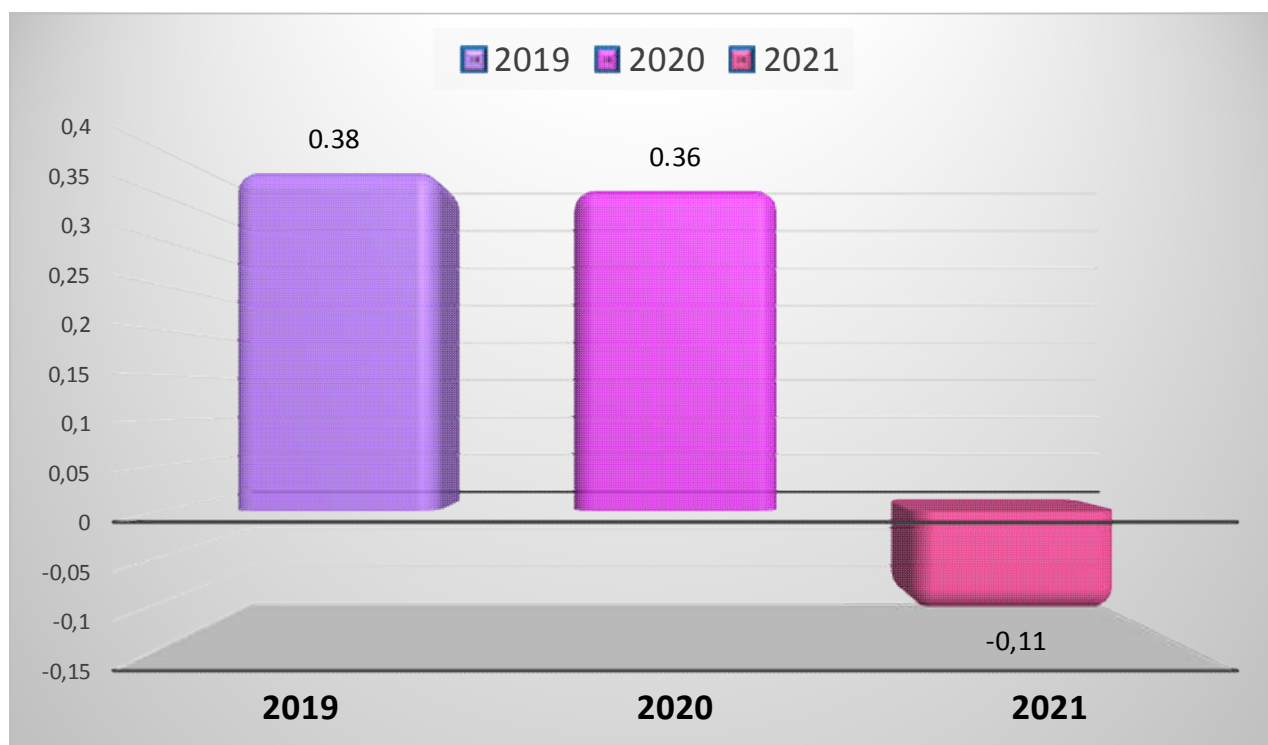
Рік вегетації	Розведення фільтрату			
	M±m	Cv, %	Алелопатична активність, %	Індекс алелопатичної активності (RI)
Контроль	3.36±0.13	39.42	-	-
перший	5.37±0.15	27.33	+59.82	+0.38
другий	5.26±0.16	30.45	+56.55	+0.36
третій	2.99±0.11	37.45	-11.02	- 0.11

*Source: авторська розробка*

За даними Таблиці 1 видно, що у рослин першого року вегетації алелопатична активність ґрунту у зоні ризосфери гісопу лікарського у фазі цвітіння більш активна, яка була виражена у стимуляційному розвитку тест-об'єкта і склала 59.82% відносно контролю, за другого року – 56.55% відповідно. Експеримент доводить, що вже на другий рік вирощування гісопу лікарського можна спостерігати зменшення позитивного впливу алелопатично активних речовин ґрунту на ріст коренів крес-салату на 3.3%. Це підтверджується й величиною індексу алелопатичної активності (рис. 1).

На рисунку 1 видно, що індекс алелопатичної активності ґрунту, що виражає гальмувальний ефект у зоні ризосфери гісопу лікарського збільшується залежно від віку рослин. Найвищим цей показник був при використанні рослин гісопу лікарського третього року життя. Спостерігалось гальмування росту корінців тест об'єкту на 11.02%, що підтверджено й індексом алелопатичної активності, який склав від'ємне число (-0.11). Тобто на третій рік вирощування гісопу лікарського сорту Маркіз, водний настій ґрунту зони ризосфери даної рослини, що містить коліни, пригнічує ріст та розвиток коренів крес-салату.

Це підтверджується й результатами, що були отримані С.І. Сорокіною та Н.І Гнатюк (2017) у дослідженнях динаміки алелопатичної активності водорозчинних виділень з ґрунту



та надземних частин рослин гісопу лікарського.

**Рисунок 1.** Зміна індексу алелопатичної активності кореневмісного шару ґрунту за роки досліджень

*Source:* авторська розробка

За результатами досліджень вчених було з'ясовано, що дія колінів на розвиток тест-об'єкту була як гальмувальна, так й стимуляційна. До того ж з'ясовано, що ґрунт у зоні ризосфери рослини та зона міжрядь упродовж всього періоду вегетації акумулює коліни, але найбільший вміст колінів інгібіторної дії спостерігається у фазу цвітіння.

Гісоп лікарський відсутній у природньому ареалі Півдня України, тому отримані результати експерименту можуть пояснюватися тим, що для південних регіонів він є інтродукованою культурою (Кучерявий, 2020; Reigosa et al., 2010).

До того ж рослини родини *Lamiaceae*, до яких відноситься й гісоп лікарський, відрізняються своєю здатністю до прояву алелопатичної активності. Наприклад, результати дослідження водних екстрактів листків та ризосферного золю *Marubium vulgare L.*, або Шандри звичайної показали, що вони суттєво ( $p < 0,05$ ) пригнічували проростання та ріст сходів *Sinapis arvensis* (бур'ян) та *Lactuca sativa* (культивований), а їх алелопатична активність була залежною від концентрації - зі збільшенням концентрації екстрактів алелопатичні ефекти були більш вираженими. Алелопатична активність може бути пов'язана з наявністю алелохімічних сполук, включаючи дубильні речовини, фенольні кислоти та флавоноїди, які запобігали проростанню насіння або спричиняли його загибель через хромосомні аберації в клітинах, що діляться. Крім того, інгібіторними речовини в алелопатії є терпеноїди та фенольні речовини. Фенольні сполуки швидко адсорбуються та/або окислюються ґрунтом і найбільш сильно корелюють із пригніченням росту рослин. Крім того, повідомляється, що токсичність може бути наслідком синергетичних ефектів, а не одного. Фактично, алелохімічні сполуки, які визначають успіх проростання насіння, можуть пригнічувати проростання шляхом зміни проникності мембран, дихання, водного балансу рослин, активності ферментів тощо (Dallali et al., 2017)

Відомо, що ефірна олія гісопу в основному накопичується у листках та квітках та не велика кількість у стеблах рослини (Wolski et al., 2006). До складу ефірної олії гісопу входять вторинні метаболіти, виділення яких може вплинути на ріст та розвиток інших рослин (Zawiślak, 2013). Тому у дослідженні був проаналізований вплив водних екстракти різної концентрації з надземних органів гісопу лікарського сорту Маркіз на обраний тест-об'єкт.

Результати аналізу довжини кореня тест-об'єкту та алелопатичної активності водорозчинних біологічно активних речовин надземних органів рослин *Hyssopus officinalis* L. сорту Маркіз наведені у Таблиці 2 та 3.

**Таблиця 2.** Довжина кореня тест-об'єкту залежно від віку рослин та концентрації розчину, мм

Орган	Рік вегетації	Концентрація розчину		
		1:100	1:50	1:10
Контроль	H <sub>2</sub> O	3.36±0.13	3.36±0.13	3.36±0.13
Листок	перший	3.64±0.17	3.40±0.17	3.49±0.16
	другий	4.44±0.19	4.54±0.17	4.95±0.14
	третій	2.60±0.07	2.51±0.08	1.02±0.05
Стебло	перший	3.84±0.18	3.79±0.15	3.90±0.18
	другий	4.34±0.15	4.83±0.16	4.46±0.15
	третій	2.73±0.09	2.59±0.09	1.46±0.07
Квітка	перший	4.04±0.14	4.42±0.16	4.15±0.15
	другий	4.73±0.16	4.56±0.16	5.36±0.15
	третій	2.96±0.11	2.81±0.10	1.85±0.06
Листок+стебло	перший	4.07±0.15	4.37±0.13	3.45±0.13
	другий	4.73±0.18	4.83±0.19	3.80±0.12
	третій	1.39±0.05	1.12±0.05	0.68±0.03

Source: авторська розробка

Водний розчин квітів гісопу першого року вегетації з концентрацією 1:50 прискорював ріст кореневої системи тест-об'єкту в 1.31 рази відносно контролю. Водний розчин суміші листків та стебел зменшив лінійний ріст коренів крес-салату у порівнянні з водним розчином квіток.

При дослідженні та аналізі алелопатичного впливу віку рослин та їх надземних органів на приріст коренів крес-салату було встановлено, що найбільший вплив мав водний розчин квіток гісопу другого року вегетації в концентрації 1:10. Відбувся активний ріст коренів тест-об'єкту. В середньому довжина коренів крес-салату склала 5.36 мм, що на 2.0 мм більше за контрольний варіант. При зменшенні концентрації водного розчину квіток гісопу до 1:50 – 1:100 зменшувалася й довжина коренів тест-об'єкту до 4.56 – 4.73 мм відповідно.

Водні розчини всіх варіантів концентрацій рослин третього року вегетації сповільнили лінійний ріст коренів крес-салату та гальмували їх приріст. Цей варіант показав інгібуючий ефект в усі роки досліджень (Таблиця 3).

**Таблиця 3.** Алелопатична активність органів рослин гісопу лікарського залежно від віку та концентрації розчину, %

Орган	Рік вегетації	Концентрація розчину		
		1:100	1:50	1:10
Контроль	H <sub>2</sub> O	-	-	-
Листок	перший	8.33	1.19	3.87
	другий	32.14	35.12	47.32
	третій	-22.62	-25.3	-69.64

Стебло	перший	14.29	12.8	16.07
	другий	29.17	43.85	32.74

<i>продовження таблиці 3</i>				
	третій	-18.75	-22.92	-56.55
Квітка	перший	20.25	31.55	23.51
	другий	40.77	35.71	59.52
	третій	-11.9	-16.37	-44.9
Листок+стебло	перший	21.13	30.06	2.68
	другий	40.77	43.75	13.1
	третій	-58.63	-66.67	-79.76

*Source: авторська розробка*

Водний розчин квіток рослин першого року вегетації в концентрації 1:10–1:50 показав найвищу алелопатичну активність - 23.51–31.55% відповідно. При зменшенні концентрації розчину до 1:100 зменшився й стимулювальний ефект щодо лінійного приросту коренів крес-салату.

Водні розчини з усіх надземних органів рослин другого року вегетації різною мірою, але позитивно впливали на алелопатичну активність. Найнижчою вона була виявлена у водному розчині суміші листків та стебел в концентрації 1:10 – 13.1%, а найвищою – 59, 52% при використанні водного розчину з квіток в концентрації 1:50.

Характерно відмітити, що при використанні квіток в концентрації 1:100 та 1:50 відмічений позитивний вплив, але алелопатична активність рослин третього року вегетації значно поступається рослинам першого і, особливо, другого року вегетації.

Це підтверджують й досліді А.Р. Dragoeva, Z.D. Nanova & V.P. Kalcheva (2010), в яких водні настої гісопу виявляють алелопатичний ефект на ранніх стадіях росту *T. aestivum* & *C. sativus*. Ефект пригнічення зростання коренів був сильнішим у *T. aestivum*, ніж у *C. sativus*, що підтверджує наявність в листках, стеблах та квітках рослин гісопу лікарського вторинних метаболітів, які виявляють алелопатичний ефект. Л.А. Котюк & Д.Б. Рахметов (2014) досліджуючи алелопатичний вплив рослинних решток 13 видів-інтродуцентів родини *Lamiaceae* Lindl., серед яких був й гісоп лікарський, з'ясували, що водні витяги із рослин *H. officinalis* сповільнили проростання насіння у *Z. mays* та спричинили найвищий фітотоксичний ефект щодо *T. Aestivum*, тобто гальмували ростові процеси.

Були досліджені алелопатичні можливості рослин лаванди, що також відносяться до родини *Lamiaceae*, як й гісоп лікарський. З метою визначення алелопатичних можливостей рослин лаванди у водні екстракти насіння та листків в концентраціях 5 %, 10 %, 15 % поміщали насіння досліджуваних рослин: кукурудзи, квасолі, пшениці та сочевиці. Відстежували відсоток проростання, довжину корінців і плюмів, загальну антиоксидантну активність і кількість гормонів у насінні. Залежно від зростаючих концентрацій екстрактів лаванди, які використовувалися в тестах, посилювався інгібуєчий і фітотоксичний вплив на проростання насіння і ріст досліджуваних рослин (Ayşe Kuru, 2016).

Вчені Дослідницького центру рослинництва Мешхедського університету імені Фірдоусі та ботанічного саду Мешхеда (S. Sadeqifard, S. Mirmostafae, M. R. Joharchi, J. Zandavifard, M. Azizi, Y. Fujii, 2022) зібрали різні частини рослин – квітки, стебла, листки, коріння (123 зразки), що належать до 31 родини лікарських рослин. Вплив досліджуваних рослин на прикореневий і гіпокотильний ріст насіння салату, порівняння з контролем у різних родинах рослин досліджувалося окремо. В кожній родині рослин порівняння



проводилося на двох рівнях ймовірності ( $p \leq 0,05$ ;  $p \leq 0,01$ ). Високий показник відсотка пригнічення (83–95%) росту та розвитку корінців тест-об'єктів (*Lepidium sativum* L) спостерігали у екстрактах з квіток лаванди звичайної родини *Lamiaceae*.

Результати розрахунку індексу алелопатичної активності надземних органів рослин гісопу сорту Маркіз показують, що (RI) мав варіант використання настою квіток в концентрації 1:50 рослин другого року вегетації (2020 р.) відносно контролю (рис 2).



**Рисунок 2.** Індекс алелопатичної активності надземних органів рослин гісопу сорту Маркіз за роки досліджень (2019-2021 рр.)

*Source:* авторська розробка

Як бачимо в середньому за роки досліджень індекс алелопатичної активності гісопу змінюється залежно від віку рослин та концентрації водного розчину біологічно активних речовин надземних органів (рис. 2). Так найбільший індекс алелопатичної активності що викликав стимулюючу дію відзначено концентрацію розчину квіток рослин другого року вегетації 1:50. Інгібуючий ефект спостерігався при концентрації розчину 1:10.

Дані дослідження підтверджуються й результатами інших експериментів стосовно алелопатичної активності гісопу лікарського. Так, В. Jop, A. Krajewska, K. Wawrzyńczak, K. Polaszek & A. Synowiec (2021) довели, що олія гісопу насичена монотерпеновими кетонами, такими, як ізопінокамфон – 42,1% і пінокамфон – 10,6%. Олія гісопу пригнічує проростання пшениці та гірчиці, залежно від концентрації. Видиме пригнічення проростків пшениці відбувається вже при дозі олії 1,0 г/л<sup>1</sup>, а гірчиці – 2,8 г/л<sup>1</sup>.

V. Pandey, R.S. Verma, A. Chauhan & R. Tiwari (2014) методом гідродистиляції отримали ефірну олію гісопу з різних частин рослини: листків, квіток та стебел. З'ясовано, що основними компонентами олії були цис-пінокамфон (49,7-57,7%), пінокарвон (5,5-24,9%), β-пінен (5,7-9,3%) та інші. Порівняльні результати чітко показали, що зразки олії, які отримали з листків та стебел гісопу були досить подібними щодо вмісту цис-пінокамфону та пінокарвону. Однак олія, що була отримана з квіток рослини відрізнялася від олії з листків та стебел наявністю більшої кількості пінокарвону. Відомо, що ефірні олії представляють собою суміші простих аліфатичних та циклічних терпеноїдів, переважно моно- та сесквітерпенів, їх спиртів і кетонів з супутніми похідними бензойної кислоти та фенілпропану. На особливу увагу заслуговують кетони, до яких відноситься й пінокарвон. Біологічна дія кетонів різноманітна, але, незважаючи на їх позитивні властивості, необхідно відмітити й їх можливу токсичну дію (Garna et al., 2016). Можна допустити – саме

накопичення з роками у стеблах, листках та квітках гісопу цис-пінокамфону й пінокарвону надає алелопатичну активність отриманим розчинам різної концентрації з частин рослини гісопу третього року вегетації та з його зони ризосфери відносно лінійного приросту коренів тест-об'єкту, що потребує подальших досліджень хімічного складу надземної частини гісопу та його кореневмісного шару ґрунту культивованих в умовах півдня України.

### Висновки

Таким чином у роки досліджень (2019-2021 рр.) було виявлено, що на лінійний ріст коренів тест-об'єкту, у якості якого був використаний крес-салат, алелопатично впливали водні розчини з усіх частин рослин гісопу лікарського сорту Маркіз. Аналізуючи данні експерименту можна зробити висновок, що стимулювальний ефект на ріст коренів тест-об'єкту мали водні розчини кореневмісного шару ґрунту та надземних органів рослин гісопу першого та другого років вегетації. Отриманий результат може свідчити про те, що в коренях рослин гісопу лікарського у перші 2 роки росту та розвитку не відбувається значного накопичення речовин гальмівної дії. Водні розчини шару ґрунту кореневої системи де зростали рослини гісопу лікарського третього року вегетації мають інгібуючий ефект на лінійний приріст коренів крес-салату.

Встановлено, що найвищу алелопатичну активність має варіант з використанням квіток гісопу лікарського рослин другого року вегетації в концентрації 1:10. Найбільшою вона була у варіанті листок + стебло при концентрації водного розчину 1:10. Нагромадження ефірної олії у гісопу лікарського відбувається у квітках, листках та незначною мірою у стеблах. Дослідження підтверджують, що речовини гальмівної дії поступово починають локалізуватися в органах рослин гісопу лікарського, які здатні накопичувати ефірну олію, вже на другий рік вегетації культури.

В середньому індекс алелопатичної активності водорозчинних біологічно-активних речовин надземних органів рослин гісопу лікарського першого, другого року вегетації мав стимулювальний ефект при концентрації розчину 1:50, а інгібуючий ефект при використанні рослин третього року вегетації з концентрацією розчину 1:10. Такий результат підтверджує, що найбільша кількість алелохімічних речовин, які можуть негативно вплинути на ріст та розвиток інших рослин, накопичилась на третій рік вирощування гісопу лікарського. Потрібно відмітити, що незважаючи на відмінність алелопатичної активності водних екстрактів з різних органів рослин гісопу, тенденція до її зростання відбувається з кожним роком його вирощування у монокультурі. Експеримент доводить, що, можливо, рекомендований період вирощування рослини у монокультурі складає не більше 5 років, тому що вже на 3 році культивування гісоп проявляє фітотоксичний ефект, але для більш точного результату потрібні подальші дослідження.

Результати вивчення алелопатичного впливу рослин гісопу лікарського сорту Маркіз на зростання коренів крес-салату показали, що оцінка їхнього алелопатичного потенціалу є перспективним напрямом для більш ефективного практичного використання цих рослин.

### References

1. Abd-Elgawad, M.M., & Omer, E.A. (1995). Effect of essential oils of some medicinal plants on phytonematodes. *Anz. Schadlingskde, Pflanzenschutz, Umweltschutz*, 68, 82-84. doi:10.1007/BF01908429
2. Aci, M.M., Sidari, R., Araniti, F., & Lupini, A. (2022). Emerging trends in allelopathy: A genetic perspective for sustainable agriculture. *Agronomy*, 12(9). doi:10.3390/agronomy12092043.
3. Ahmad, H., Kobayashi, M., & Matsubara, Yoh. (2020). Changes in secondary metabolites and free amino acid content in tomato with Liliaceae herbs companion planting. *American Journal of Plant Sciences*, 11(12), 1878-1889.

4. Aipova, R., Abdykadyrova, A.B., & Kurmanbayev, A.A. (2020). Biological products in organic agriculture. *Plant Biotechnology and Breeding*, 2(4), 36-41. doi:10.30901/2658-6266-2019-4-o4.
5. Amb, M.K., & Ahluwalia A.S. (2016). Allelopathy: Potential role to achieve new milestones in rice cultivation. *Rice Science*, 23(4), 165-183. doi:10.1016/ j.rsci.2016.06.001.
6. Ayşe, K. (2016) *Entansif tarımda kullanılan jojoba ve lavanta bitkilerinin allelopatik potansiyellerinin araştırılması*. Denizli, Aralık: Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı.
7. Canarini, A., Kaiser, C., Merchant, A., Richter, A., & Wanek, W. (2019). Root exudation of primary metabolites: Mechanisms and their roles in plant responses to environmental stimuli. *Frontiers in Plant Science*, 10(157), 1-19. doi:10.3389/fpls.2019.00157.
8. Ćeranić, A., Doppler, M., Büschl, C., Parich, A., Kangkang, Xu, Koutnik, A., Bürstmayr, H., Lemmens, M., & Schuhmacher, R. (2020). Preparation of uniformly labelled 13C- and 15N-plants using customised growth chambers. *Plant Methods*, 16(1), 2-15. doi:10.1186/s13007-020-00590-9.
9. Cheng, F., & Cheng, Z. (2015). Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Frontiers in Plant Science*, 6(102), 1-16. doi:10.3389/fpls.2015.01020.
10. Dallali, S, Rouz, S., Aichi, H., & Ben Hassine, H. (2017) Phenolic content and allelopathic potential of leaves and rhizosphere soil aqueous extracts of white horehound (*Maribum vulgare* L.). *Journal of New Sciences, Agriculture and Biotechnology*, 39(3), 2106-2120.
11. Dobrovolskyi P., Andriichenko L., Kachanova T., & Manushkina T., (2021). Creating hyssop phytocenoses in anthropogenically transformed ecosystems. *E3S Web of Conferences*, 255, article number 01009. doi:10.1051/e3sconf/202125501009.
12. Dragoeva, A.P., Nanova, Z.D., & Kalcheva, V.P. (2010). Allelopathic activity of micropropagated *Hyssopus officinalis* L., *Lamiaceae*, water infusions. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 20(4), 513-518. doi:10.1590/s0102-695x2010000400009.
13. Garna, S.V., Vladimirova, I.M., & Burda, N.B. (2016). *Modern phytotherapy: Teaching manual*. Kharkiv: Printing shop Madrid.
14. Grodzinsky, A.M. (1991). *Allelopathy of plants and soil fatigue*. Kyiv: Nauk. Opinion.
15. Grodzinsky, A.M. (1992). *Fundamentals of chemical interaction of plants*. Kyiv: Nauk. Opinion.
16. Hussain, M.I., Danish, S., Sánchez-Moreiras, A.M., Vicente, Ó., Jabran, K., Chaudhry, U.K., Branca, F., & Reigosa, M.J. (2021). Unraveling sorghum allelopathy in agriculture: Concepts and implications. *Plants (Basel)*, 10(9). doi:10.3390/plants10091795.
17. Jop, B., Krajewska, A., Wawrzyńczak, K., Polaszek, K., & Synowiec, A. (2021). Phytotoxic effect of essential oil from hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) against spring wheat and white mustard. In *Proceedings of the 1st International Electronic Conference on Agronomy* (pp. 3-17). Basel: MDPI. doi:10.3390/IECAG2021-09711.
18. Khalid, S.T.A. (2002). Use of allelopathy in agriculture. *Asian Journal of Plant Sciences*, 1(3), 292-297. doi:10.3923/ajps.2002.292.297.
19. Kornienko, V.I. (2021). *Medicinal plants in clinical veterinary medicine. A study guide for students of zoo-veterinary universities and faculties*. Kharkiv: National University.
20. Kucheryavyi, O.V. (2020). *Formation and development of allelopathy in Ukraine: Agricultural aspect (second half of the 20th – beginning of the 21st century)*. Pereyaslav: Pereyaslav-Khmelnitsky State Pedagogical School Hryhory Skovoroda University.
21. Laurent, S., & Feth, Z.H. (2019). Determination of root exudate concentration in the rhizosphere using 13c labeling. *Bio Protoc*, 9(9), 1-7. doi:10.21769/BioProtoc.3228.
22. Mominul Islam, A.K.M., Thiti S., Md Parvez, A., Shukor Juraimi, A., & Kato-Noguchi, H. (2022). Allelopathic properties of *Lamiaceae* species: Prospects and challenges to use in agriculture. *Plants*, 11(11). doi:10.3390/plants11111478.

23. Myhal'ska, L., Shvartau, V., & Kremenчук, R. (2018). Phytomeliorative properties of plants of *Lavandula angustifolia* L. in conditions of cultivation in the Forest-steppe zone of Ukraine. *Bulletin of Agrarian Science*. 96(10). 55-60. doi:10.31073/agrovisnyk201810-08.
24. Pandey, V.; Verma, R.S.; Chauhan, A.; Tiwari, R. (2014). Compositional variation in the leaf, flower and stem essential oils of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) from Western-Himalaya. *Journal of Herb. Med.*, 4, 85-89. doi:10.1016/j.hermed.2013.12.001.
25. Polyak, Y.M., & Sukcharevich, V.I. (2019). Allelopathic interactions between plants and microorganisms in soil ecosystems. *Biology Bulletin Reviews*, 9(6). doi:10.1134/s2079086419060033.
26. Reigosa, M.J., Pedrol, N., & González, L. (2010). *Allelopathy: A physiological process with ecological implications*. Netherlands: Springer.
27. Rozhkov, A.O. (2016). *Theoretical aspects of research*. Kharkiv: Maidan.
28. Sadeqifard, S, Mirmostafae, S., Joharchi, M.R., Zandavifard, J., Azizi, M., & Fujii, Y. (2022). Evaluation of allelopathic activity interactions of some medicinal plants using fractional inhibitory concentration and isobologram. *Agronomy*, 12(12). doi:10.3390/agronomy12123001.
29. Scavo, A., Abbate, C., & Mauromicale, G. (2019). Plant allelochemicals: Agronomic, nutritional and ecological relevance in the soil system. *Plant and Soil*, 442(1-2), 23-48. doi:10.1007/s11104-019-04190-y.
30. Shahid, A. (2021). *Varietal features of white mustard performance formation depending on sowing and mineral nutrition rates under the conditions of the northeastern Forest Steppe of Ukraine. Thesis for a Candidate Degree in Agricultural Sciences (PhD): Specialty 06.01.09 "Crop Production"*. Sumy: Sumy National Agrarian University.
31. Shinwari, M., Shinwari, M., & Fujii, Y. (2013). Allelopathic activity of medicinal plants and weeds from Pakistan. *Allelopathy Journal*. 2013. 32(2), 223-232.
32. Sira, L.M. (2022). *Allelopathy of plants*. *Pharmaceutical encyclopedia*. Retrieved from <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/2698/alelopatiya-roslin>.
33. Sorokina, S.I., & Hnatiuk, N.O. (2017). Biological activity of secretion of plant matter and soil from hyssop species (*hyssopus officinalis*). *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(3). 121-123.
34. Storozhyk, L. (2019). Allelopathic potential of Sugar sorghum seeds. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 9(1), 93-98. doi:10.15414/jmbfs.2019.9.1.93-98.
35. Vivanco, J.M., & Baluska, F. (2012). *Secretions and exudates in biological systems*. London: Springer Heidelberg Dordrecht.
36. Vivanco, J.M., & Baluska, F. (2012). *Secretions and exudates in biological systems*. New York: Springer Heidelberg Dordrecht.
37. Williamson, B.G., & Richardson, D. (1988). Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls. *Journal of Chemical Ecology*, 14(1), 181-187. doi:10.1007/bf01022540.
38. Wolski T., & Baj T. (2006). Hyzop lekarski (*Hyssopus officinalis* L.) aromatyczna roślina lecznicza. *Aromaterapia*, 4(46), 10-18.
39. Zaimenko, N.V., Pavlyuchenko, N.A., Didyk, N.P., Ellanska, N.E., & Ivanytska, B.O. (2021). Allelopathic interactions and the biogeochemical cycle of carbon in nature. In *Global consequences of the introduction of plants under conditions of climate change: materials of the scientific conference with international participation dedicate on the 30th anniversary of the Independence of Ukraine, the National Botanical Garden named after M.M. Hryshka of the National Academy of Sciences of Ukraine* (pp. 31-33). Kyiv: National University.
40. ZawiĠlak, G. (2013). The chemical composition of essential hyssop oil depending on plant growth stage. *Acta scientiarum Polonorum. Hortorum cultus = Ogrodnictwo*, 12(3), 161-170.
41. Zheljazkov, V.D., Jeliaskova, E.A., & Astatkie, T. (2021). Allelopathic effects of essential oils on seed germination of barley and wheat. *Plants*, 10(12), article number 2728. doi:10.3390/plants10122728.

42. Zorikova, O., Manyakhin, A., Koldaev, V., Moiseenko, L., & Litvinova, E. (2017). Allelopathic activity of *patrinia scabiosifolia* and *patrinia rupestris*. *Biomed Pharmacol*, 10(2), 651-658. doi:10.13005/bpj/1152.