

УДК 581.2:633.34:582.288

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.140.7>

БІОЛОГІЧНА АКТИВНІСТЬ МЕТАБОЛІТІВ РОСЛИН ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ЗА ВЗАЄМОДІЇ ІЗ МІКРОМІЦЕТОМ *F. OXYSPORUM*

Безноско І.В. – к.б.н., с.д.,

зав. лабораторії біоконтролю агроєкосистем і органічних технологій,

Інститут агроєкології і природокористування

Національної академії аграрних наук України

Янсе Л.А. – д.б.н., с.н.с., член-кореспондент

Національної академії аграрних наук України

Мосійчук І.І. – аспірантка,

Інститут агроєкології і природокористування

Національної академії аграрних наук України

Рослини постійно зазнають впливу широкого спектру патогенів, які загрожують їхньому існуванню, тому змушені синтезувати біологічно активні речовини для конкуренції із фітопатогенними мікроміцетами. У статті розглянуто біологічну активність метаболітів рослин пшениці озимої (аскорбінова кислота, глутатіон, фенольні речовини) за взаємодії із *F. oxysporum*. Встановлено, що вміст аскорбінової кислоти та глутатіону в проростках рослин пшениці озимої за взаємодії із мікроміцетами роду *Fusarium* spp., за органічної технології вирощування зростає у 2 рази, за традиційної – у 0,5 разів. Це свідчить, що органічна технологія вирощування рослин пшениці озимої сприяє більшій активності аскорбінової кислоти та глутатіону. З'ясовано, що із збільшенням поліфенольних речовин в рослинах пшениці озимої пов'язано зменшення інтенсивності споруляції мікроміцету. За органічної технології вирощування пшениці озимої, спостерігаємо найнижчу інтенсивність споруляції мікроміцетів до 375,523 млн шт./1 см² площі колонії, відповідно і вміст поліфенольних речовин сягає 194 мг/100 г сирової маси. За традиційної – вміст поліфенольних речовин нижчий та інтенсивність споруляції мікроміцета зростає у 4 рази. Визначено, що чим більший відсоток білка, тим менший крохмалю, що впливає на якісні показники зерна пшениці озимої. Водночас чим вищий показник крохмалю, тим більший відсоток ураження колосу, що спричинює зниження безпечності зерна культури. Доведено, що білок у зерні рослин, здатний контролювати як якість так і безпечність зернової продукції.

Отже, сортові особливості рослин пшениці озимої синтезують значну кількість біологічно активних речовини, які відіграють важливу роль в адаптації до чинників навколишнього середовища. Вони є складовими донорно-акцепторної взаємодії між рослинами і мікроорганізмами, що здатні знижувати формування фітопатогенного фону і впливати на екологічний стан агрофітоценозу.

Ключові слова: аскорбінова кислота, глутатіон, мікроміцет, білок, крохмаль, агроєкологія, технологія вирощування.

Beznosko I.V., Yanse L.A., Mosiychuk I.I. Biological activity of metabolites of cereal crops in interaction with the microfungus *F. oxysporum*

Plants constantly face a wide range of pathogens that threaten their survival, necessitating the synthesis of biologically active substances to compete with phytopathogenic micromycetes. The article examines the biological activity of the metabolites of winter wheat plants (ascorbic acid, glutathione, and phenolic compounds) in interaction with *Fusarium oxysporum*. It was found that the content of ascorbic acid and glutathione in the seedlings of winter wheat plants interacting with micromycetes of the genus *Fusarium* increases twofold under organic farming conditions, while under traditional farming methods, it increases by 0.5 times. This indicates that organic farming technologies for cereal crops enhance the activity of ascorbic acid and glutathione. It was revealed that the increase in polyphenolic substances in winter wheat plants is associated with a reduction in the intensity of micromycete sporulation. Under organic farming

conditions, the lowest sporulation intensity of micromycetes, up to 375.523 million spores/cm² of colony area, was observed, and the content of polyphenolic compounds reached 194 mg/100 g of raw mass. Under traditional farming methods, the polyphenolic content was lower, and the intensity of micromycete sporulation increased fourfold. It was determined that a higher protein percentage corresponds to a lower starch content, influencing the qualitative indicators of grain products. Conversely, higher starch levels lead to a greater percentage of spike infection, reducing the safety of grain products. It was proven that protein in plant grains can control both the quality and safety of grain production.

Thus, the varietal characteristics of winter wheat plants synthesize a significant amount of biologically active substances that play a crucial role in adapting to environmental factors. These substances form part of the donor-acceptor interaction between plants and microorganisms, which can either reduce or stimulate the formation of a phytopathogenic background, influencing the ecological state of agrocenoses.

Key words: *ascorbic acid, glutathione, micromycete, protein, starch, agrocenosis, farming technologies.*

Актуальність теми дослідження. Пристосування рослин до навколишнього середовища зумовило розмаїття генетичних ресурсів, що дає їм змогу адекватно реагувати на будь-який негативний вплив з мінімальними втратами [1]. За ураження патогенами рослина захищається за допомогою вже наявних у ній (конституційних) речовин чи бар'єрів – чинників пасивного імунітету або ж активно, коли в результаті передачі сигналу про небезпеку в процесі каскадної трансдукції у рослинах формуються нові захисні сполуки чи структури – чинники активного імунітету. Ці утворення або згубно діють на патоген, або уберігають клітини рослини від його проникнення, або нейтралізують фітотоксичні метаболіти патогену, тобто відбувається взаємодія патогена і рослини. Типи взаємодії рослин і патогена бувають різними: морфологічні (бар'єрні структури) та фізіологічні (сполуки, речовини) [2].

Для отримання оптимальних врожаїв з високою якістю, доцільно тестувати сорти зернових рослин за ознакою їх впливу на формування видового різноманіття популяцій фітопатогенних мікроміцетів, що істотно залежить від фізіолого-біохімічних особливостей різних сортів, яка змінюється залежно від впливу екологічних чинників [3]. Тому, доцільно оцінювати роль біологічно активних речовин зернових рослин у споруутворенні некротрофних фітопатогенних мікроміцетів. Це дасть можливість відбирати для посіву екологічно безпечні сорти рослин, які знизять спектр хімічних засобів захисту рослин протягом вегетації, що істотно відновить баланс в мікробіоті агрофітоценозах зернових культур.

Постановка проблеми. Внаслідок екологічної ситуації, яка склалася на сьогодні, особливо гостро постає проблема забезпечення населення високоякісними та екологічно безпечними продуктами харчування. Значна частина сільськогосподарської продукції не завжди відповідає чинним світовим стандартам якості та безпеки. Останніми роками були проведенні масштабні дослідження результати яких свідчать, що контамінація мікотоксинами продуктів харчування та кормів сягає 60–80% [4].

Фізіолого-біохімічно активні речовини рослин виконують різноманітні функції: фітоценотичну, едифікаторну, стимуляційну, інгібуючу, фітонцидну, захисну, регуляційну та ін. Сумісна дія всіх видів виділень створює навколо рослин специфічну біохімічну сферу. Виділення рослин накопичуються в ґрунті і залежно від концентрації діють, як стимулятори або інгібітори хвороби [5]. Алелопатичні речовини варіюються від простих вуглеводнів до складних поліциклічних ароматичних фенолів, терпенів, флавоноїдів, поліацетиленів і жирних кислот. Хінони та фенольні сполуки є найпоширенішими фітотоксинами. Однак, мікробіологічна

трансформація алелохімічних речовин призводить до утворення нових продуктів з іншими біологічними властивостями [6].

За дослідженнями авторів [7] показано, що фізіологічно активні речовини рослин, зокрема аскорбінова кислота, цукри, коліни, макро- і мікроелементи та ендоефітна мікробіота, асоційована з рослинами, зумовлюють споруляцію фітопатогенних грибів, інтенсивність якої залежить від сорту рослин [8, 9].

За впливу екологічних факторів рослини значно відрізняються за своєю фізіологічною реакцією. Аскорбінова кислота бере участь у біохімічних реакціях, від яких залежить адаптація рослин до стресів та факторів навколишнього середовища. Відомо, що від вмісту аскорбінової кислоти в рослинах залежить їх стійкість до патогенних мікроорганізмів [10, 11].

В агроценозах зернових культур зустрічається широкий спектр мікроорганізмів і їх взаємодія може бути як корисною, так і шкідливою, що призводить до встановлення мутуалістичних або патогенних взаємовідносин. Вторинні метаболіти також відомі як природні продукти, що відповідають за лікувальні властивості рослин, до яких належать. Роль, яку вони відіграють у рослині, на сьогоднішній день вивчена недостатньо. Тому актуальним завданням сьогодення є з'ясування ролі метаболітів рослин за взаємодії із патогенними грибами – як один із механізмів регуляції чисельності мікроміцетів в агроценозах зернових культур.

Отже, аналіз метаболітів рослин надає можливість з'ясувати механізм взаємодії рослин із патогенними мікроорганізмами, що допоможе виявити шляхи регуляції чисельності патогенних мікроміцетів в агроценозах культур за рахунок активізації вторинних метаболітів рослин. Не достатньо вивченим залишається питання чинників, які діють на популяції грибів в агроценозичних популяціях зернових культур. Тому, необхідно встановити закономірності процесів, які відбуваються з популяціями мікроміцетів в часі й просторі для пошуку критеріїв, які дозволять вивчати екологічні особливості взаємодії рослин із мікроміцетами.

Методика досліджень. Експериментальні дослідження проводили упродовж 2019–2023 рр. на Сквирській дослідній станції Інституту агроєкології і природокористування Київська область, де використовували дві технології вирощування пшениці озимої: традиційна та органічна.

В умовах традиційної технології вирощування використовували різні хімічні фунгіциди, водночас в умовах органічної технології не використовували засоби захисту посівів (табл. 1).

Таблиця 1

Схема захисту посівів пшениці озимої в умовах різних технологій вирощування

Технологія вирощування	Період використання фунгіциду	Назва препарату	Діюча речовина	Норма витрати
Традиційна	передпосівне протруювання насіння	Вітавак 200 ФФ, ТН (фунгіцид) Г	Карбоксин: 200 г/л Тирам: 200 г/л	3,0 л/т
	кущення	Гранстар Голд 75 (ФМС) (гербіцид)	Трибенурон-метил – 562,5 г/кг, тифенсульфурон-метил – 187,5 г/кг	25 г/га
Органічна	Без внесення добрив і фунгіцидів			

Лабораторні дослідження проводили в лабораторії біоконтролю агроєкосистем та органічного виробництва Інституту агроєкології і природокористування НААН.

Визначення аскорбінової кислоти (вітаміну С) [12] в проростках різних сортів зернових культур проводили за допомогою титрування розчином барвника до рожевого забарвлення, яке не зникає впродовж 0,5–1,0 хв. Вміст аскорбінової кислоти (С) у проростках виражаємо у мг на 100 г досліджуваної речовини (мг%) і обчислюємо за формулою:

$$C = \frac{100 \times A \times T \times B}{b \times a}, \quad (1)$$

де: A – кількість барвника, яку витрачено на титрування екстракту, мл; T – титр барвника, обчислений за аскорбіновою кислотою, мг; B – об'єм витяжки, отриманої із наважки, мл; b – кількість фільтрату, витрачена на титрування (звичайно 10 мл); a – наважка досліджуваного матеріалу, г.

Титр барвника (Т) розраховували за формулою:

$$T = \frac{0,088 \times a}{b}, \quad (2)$$

де: a – кількість точно 0,001 Н розчину йодату калію, становила 0,26 мл; b – кількість розчину барвника, становила 0,76 мл.

Визначення вмісту глутатіону в проростках різних сортів пшениці озимої проводили титруванням розчином KIO_3 до слабо-синього забарвлення, яке не зникає впродовж 1 хвилини. Результати обчислюємо за формулою:

Визначаємо вмісту глутатіону:

$$\Gamma = (a - b \times k) \times 0,307 \times M \times 100, \quad (3)$$

де: Γ – вміст глутатіону, мг; A – загальна редуруючі активність, мл; a – кількість фарби Тільманса, яку витрачено на титрування, мл; b – кількість йодату калію, яку витрачено на титрування, мл; 0,307 – відновленого глутатіону, еквівалентного 1 мл 0,001 Н розчину йодату калію, мг; k – співвідношення об'ємів, мл: йодату калію / фарби Тільманса; M – загальний об'єм екстракту, мл; m – об'єм екстракту взятого для титрування, мл; n – маса проби досліджуваного матеріалу, г.

Визначення поліфенольних сполук в рослинах пшениці озимої за методом Фоліна-Чекальтеу. Метод покладається на перенесення електронів у лужному середовищі з фенольних сполук з утворенням інтенсивно забарвленої сполуки синього кольору, максимальне поглинання якого залежить від концентрації фенольних сполук [13].

Кількісний вміст суми поліфенольних сполук у перерахунку на галову кислоту в абсолютно сухій сировині у відсотках (X) обраховуємо за формулою:

$$\Gamma = (a - b \times k) \times 0,307 \times M \times 100, \quad (4)$$

де D_1 – оптична густина досліджуваного розчину; D_0 – оптична густина розчину ФСЗДФУ галової кислоти; C – концентрація розчину ФСЗДФУ галової кислоти, г/см³ ($0,4 \times 10^{-3}$); m – наважка сировини, г; $V_{\text{зар}}$ – загальний об'єм екстракту, см³; V – об'єм, взятий для визначення, см³; w – втрата в масі при висушуванні сировини, %.

Визначення поліфенольних сполук в рослинах пшениці озимої за методом Фоліна-Чекальтеу. Метод покладається на перенесення електронів у лужному середовищі з фенольних сполук з утворенням інтенсивно забарвленої сполуки

синього кольору, максимальне поглинання якого залежить від концентрації фенольних сполук [13].

Кількісний вміст суми поліфенольних сполук у перерахунку на галову кислоту в абсолютно сухій сировині у відсотках (X) обраховуємо за формулою:

$$X = \frac{D_1 \times C \times V_{\text{заг}} \times 100 \times 100}{D_0 \times m \times V \times (100 - w)}, \quad (4)$$

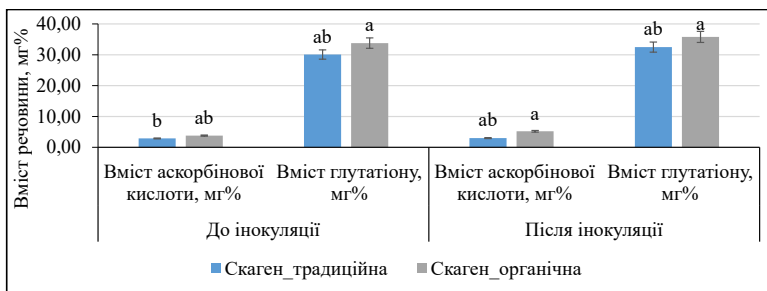
де D_1 – оптична густина досліджуваного розчину; D_0 – оптична густина розчину ФСЗ ДФУ галової кислоти; C – концентрація розчину ФСЗ ДФУ галової кислоти, г/см³ ($0,4 \times 10^{-3}$); m – наважка сировини, г; $V_{\text{заг}}$ – загальний об'єм екстракту, см³; V – об'єм, взятий для визначення, см³; w – втрата в масі при висушуванні сировини, %.

Визначення показників якості зерна за допомогою аналізатора «Infratec 1225». За допомогою аналізатора «Infratec 1225» (фірма «Tecator», Швеція) визначаємо показники якості зерна пшениці, ячменю, вівса, жита, жита. Для аналізу використовуємо неподрібнене, необроблене протруйниками, регуляторами росту та іншими хімічними препаратами зерно. Відбираємо проби для аналізу зерна відповідно до вимог ДСТУ [14].

Статистичні методи. Проведено однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA, тест Тьюкі). Різниця між контрольними і експериментальними показниками вважалемо значимими, коли ймовірність різниці становила $P < 0.05$.

Результати досліджень. В роботі представлені результати лабораторних досліджень, проведених у 2019–2023 р.р., наведено роль біологічно-активних речовин рослин пшениці озимої за взаємодії із мікроміцетом *Fusarium oxysporum*.

Антиоксидантна активність аскорбінової кислоти та глутатіону за взаємодії сортів зернових культур із мікроміцетом *F. oxysporum*. Встановлено, що найвищим вмістом окисно-відновних речовин (аскорбінової кислоти до 3,8 мг% і глутатіону – 33,8 мг%, характеризуються прорости рослин сорту Скаген за органічних технологій вирощування. При цьому, проростки рослин, за традиційних технологій вирощування відрізняються нижчим вмістом як аскорбінової кислоти (2,9 мг%), так і глутатіону – (30,1 мг%) (рис. 1).



a – традиційного

b – органічного

Рис. 2. Кореляційна залежність інтенсивності спороутворення мікроміцету *F. oxysporum* від вмісту поліфенольних речовин рослинах пшениці озимої за різних технологій вирощування

Поряд з тим встановлено, що інокуляція проростків зернових культур, суспензією мікроміцета *F. oxysporum* сприяє істотному зростанню (більш ніж у 2 рази) як аскорбінової кислоти, так і глутатіону у проростках рослин пшениці озимої.

Слід відмітити, що ця різниця також істотно залежить від технологій вирощування. Це свідчить, що за впливу фітопатогенних мікроміцетів, у рослинах зернових культур активізуються фітоімунологічні реакції, які здатні активізувати їх захисні механізми.

Залежність чисельності мікроміцету *F. oxysporum* від вмісту поліфенольних речовин у рослинах зернових культур. Встановлено обернену кореляційну залежність між вмістом поліфенольних речовин екзометаболітів рослин та здатністю мікроміцету *F.oxysporum* продукувати інфекційні структури (рис. 2).

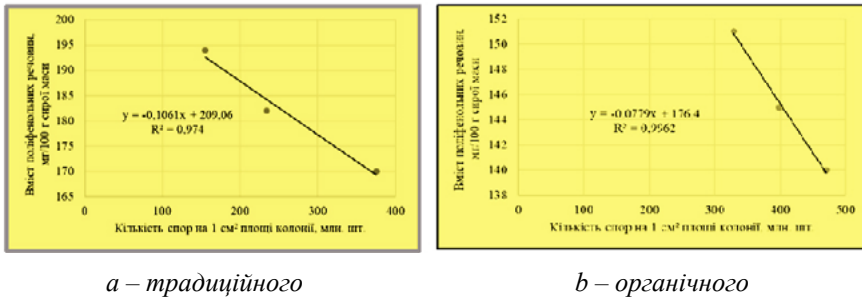


Рис. 2. Кореляційна залежність інтенсивності спорування мікроміцету *F. oxysporum* від вмісту поліфенольних речовин рослинах пшениці озимої за різних технологій вирощування

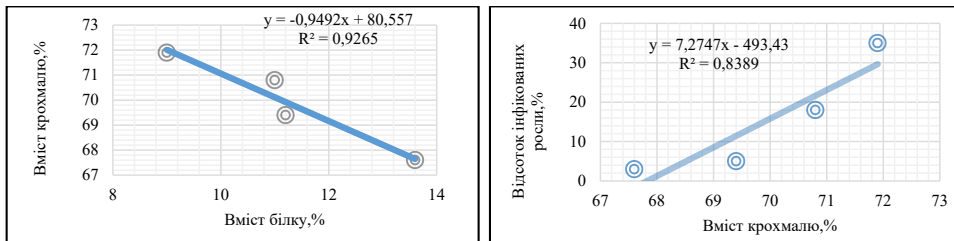
Із збільшенням поліфенольних речовин пов'язано зменшення інтенсивності споруляції мікроміцету. Значення коефіцієнту детермінації коливається у діапазоні 0,90–0,99. Найнижчу інтенсивність споруляції мікроміцетів від 155,234 млн. шт./см² до 375,523 млн. шт./см² площі колонії відмічено у рослинах пшениці озимої, вирощених за органічної технології, відповідно і сумарний вміст поліфенолів найвищий і сягає 194 мг/100 г сирої маси. Водночас за традиційної технології вирощування зернових культур, де вміст поліфенольних речовин знижується, інтенсивність споруляції мікроміцета зростає у 4 рази. На підставі отриманих даних можна вважати, що зростання вмісту поліфенольних речовин у тканинах зернових культур обумовлює пригнічення споруляції мікроміцетів під час патогенезу, що сприяє зниженню рівня формування фітопатогенного мікобіому в агрофітоценозах.

Біохімічний склад у зерновій продукції за впливу різних технологій вирощування рослин та фітопатогенних мікроміцетів. Визначено 10 біохімічних показників якості зерна (білок, клейковина, жир, зола, крохмаль, фосфор, калій, клітковина, седиментація та вологість), за різних технологій вирощування, що сприяє отриманню цінного вихідного матеріалу, який відзначається як високим рівнем продуктивності, так і стійкістю до несприятливих екологічних чинників.

Встановлено, що органічна технологія вирощування впливає на біохімічні показники зерна пшениці озимої, зокрема, підвищується вміст білка до 13,6%, жиру до 1,96%, клейковини до 22,6%, високий показник седиментації – 36,7 мл, фосфор і калій відповідно зростають до 0,87 і 0,58%, а вологість – до 11,4%, порівняно із традиційною технологією вирощування культури. Вміст крохмалю невисокий і становить до 67,6%, що свідчить про високу якість зерна пшениці озимої сорту Скаген. Впродовж вегетації, рослини характеризуються низьким відсотком ураження патогенами – до 5% і високим балом стійкості – 1, що свідчить про низьку частоту трапляння видів у насінневому мікобіомі і безпечність насінневої продукції.

За традиційної технології вирощування, показники зерна знизилися: білок до 11,0%, клейковина – 15,4%, зола – 1,44%, фосфор – 0,80%, калій – 0,51%, крохмаль – 70,8%, жиру – 1,87%, показник седиментації становить 33,7 мл, а вологість – до 10,2%. Вміст білку знизився, а крохмалю збільшився, що істотно вплинуло на якість продукції, тому зріс відсоток ураження рослин до 18%, бал ураження до 3, збільшилася частота трапляння видів у насінневому мікробіомі. Отримані результати свідчать, що хімічні пестициди, які застосовуються у традиційній технології вирощування негативно впливають на якість зернової продукції.

За результатами дослідження визначено обернену кореляційну залежність ($y = -0,9492x + 80,557$) між вмістом білка і крохмалю у зерні рослин (рис. 3).



а – вміст білка і крохмалю

б – вміст крохмалю і відсоток ураження колосу

Рис. 3. Кореляційна залежність між вмістом білка і крохмалю та вмістом крохмалю і відсотком ураження колосу пшениці озимої

З'ясовано, що чим більший відсоток білка, тим менший – крохмалю, це впливає на якісні показники зернової продукції. Показано пряму кореляційну залежність ($y = 7,2747x - 493,43$) між вмістом крохмалю у зерні та інтенсивністю ураження колосу зернових культур. За високого показника крохмалю, збільшується відсоток ураження колосу, що призводить до зниження безпечності зернової продукції (рис. 3). Отже, білок у зерні рослин, здатний контролювати як якість, так і безпечність зернової продукції.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Вміст окисно-відновних речовин аскорбінової кислоти та глутатіону в проростках рослин пшениці озимої за взаємодії із мікроміцетами роду *Fusarium*, за органічної технології вирощування зростає у 2 рази. За традиційної технології зростає в у 0,5 рази. Це свідчить, що органічна технології вирощування рослин зернових культур контролюють формування аскорбінової кислоти та глутатіону. Встановлено обернену кореляційну залежність між вмістом поліфенольних речовин у рослинах пшениці озимої та здатністю мікроміцету *F.oxysporum* продукувати інфекційні структури. Із збільшенням поліфенольних речовин в рослинах пов'язано зменшення інтенсивності споруляції мікроміцету. Визначено обернену кореляційну залежність між вмістом білка та крохмалю за різної технології вирощування, чим більший відсоток білка, тим менший крохмалю, що впливає на якісні показники зернової продукції. Водночас чим вищий показник крохмалю, тим більший відсоток ураження колосу, що спричинює зниженню безпечності зернової продукції. Тому, білок у зерні рослин, здатний контролювати як якість так і безпечність зернової продукції.

У сучасних агроценозах зернових культур проблема фітопатогенних мікроміцетів є дуже актуальною через їхній вплив на врожайність і якість продукції.

Вивчення здатності рослин до синтезу біологічно активних речовин, які можуть інгібувати ріст і розвиток фітопатогенів відкриває перспективні можливості. Цей напрям є частиною інтегрованого підходу до захисту рослин, який передбачає мінімізацію використання хімічних пестицидів і максимальне використання природних механізмів конкуренції між організмами. Крім того, застосування таких підходів дозволяє зменшити витрати на хімічні засоби захисту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Baranskyi D. Як керована синергія ризосферних мікроорганізмів може покращити ефективність сучасного землеробства (повернення до природи). *Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Agronomy*. 2023. (27). 157–162. DOI: <https://doi.org/10.31734/agronomy2023.27.157>
2. Андріанова Т.В., Дразнікова А.В., Українська А.О. Асоційовані з рослинами мікроміцети як об'єкти біотехнології. *Problems of Environmental Biotechnology*. 2019. (1). 1–49. DOI: <https://doi.org/10.18372/2306-6407.1.14248>.
3. Кірізії, Д. А., Стасик, О. О. Вплив посухи і високої температури на фізіолого-біохімічні процеси та продуктивність рослин. *Фізіологія рослин і генетика*. 2022. 54. № 2. 95–122. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2022.02.095>
4. Дубініна А.А., Ленерт С.О., Летуґа Т.М., Непочатих Т.А., Щербаківа І.С. Мікотоксини в рослинній сировині. 2019. 1(29). 215–228. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/316>.
5. Москаленко М.П. Алелопатія: навчальний посібник / М.П. Москаленко. Суми: СумДПУ імені А.С. Макаренка. 2022. 130 с. URL: <https://repository.sspu.edu.ua/handle/123456789/12304>.
6. Карпенко, В.П., Коробко, О.О. Вплив біологічно активних речовин на ростові процеси рослин нуту в умовах Правобережного Лісостепу України. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2018. (29). 17–24. URL: https://journals.pdu.khmelnytskyi.ua/index.php/podilian_bulletin/article/view/174.
7. Крицяк К. В., Суховєєва Ю. А. Управління якістю сільськогосподарської продукції. Вісник снт нні бізнесу і менеджменту ХНТУС. 2020. 1. 61–64. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/6790>
8. Безноска І.В., Парфенюк А.І., Гаврилюк Л.В., Терновий Ю.В., Горган Т.М. Видовий склад фітопатогенних мікроміцетів насіння сортів культурних рослин. *Агроєкологічний журнал*. 2020. № 2. С.84–90. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2020.207685>.
9. Мосійчук І.І., Гаврилюк Л.В., Безноска І.В., Туровнік Ю.А. Вплив біопрепаратів Вимпел 2, Оракул мультикомплекс та їх суміші на рослини ячменю ярого (*Hordeum l.*) різних сортів. *Агроєкологічний журнал*. 2023. № 2. С. 91–99. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2023.283701>
10. Олексієнко О.Ю. Алелопатична активність насіння зернових культур: магістер. робота / О.Ю. Олексієнко. Суми: СумДПУ ім. А.С. Макаренка, 2021. 48 с. URI: <https://repository.sspu.edu.ua/handle/123456789/11840>
11. Борзова Н.В., Гудзенко О.В., Варбанець Л.Д., Наконечна Л.Т., Тугай Т.І. Глікозидазна та протеолітична активність мікроміцетів, виділених з чорнобильської зони відчуження. *Мікробіологічний журнал*. 2020. 82(2). 51–59.
12. Сорока В.І., Андрущенко А.В., Шовгун О.О. Методика державної науково-технічної експертизи сортів рослин: методи визначення показників якості продукції рослинництва. К.: УІЕСР. 2011. 179 с.
13. Стешенко О.М., Арсенєва Л.Ю. Визначення параметрів екстракції фенольних сполук фітоадаптаційної суміші. *Наукові праці ОНАХТ*. 2014. Т. 2(4). С. 51–56.
14. ДСТУ 4117:2007 Зерно та продукти його переробки. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії. [Чинний від 01.08.2007]. Київ., 2007. 57 с.