

УДК 581.1:633.11:632.112

DOI 10.31654/2786-8478-2026-BN-2-16-24

Ващенко Р. А.

аспірант

Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя

vashchenkor00@gmail.com

orcid.org/0009-0004-3894-4549

Паливода Ю. М.

доктор філософії,

викладач кафедри біології

Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя

yulia.palivoda@gmail.com

orcid.org/0000-0001-6544-3441

ВПЛИВ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИХ СПОЛУК НА ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОСЛИН

Забезпечення високої урожайності та біологічної продуктивності сільськогосподарських культур продовжує бути ключовим завданням сучасного рослинництва. Одним із перспективних шляхів вдосконалення агротехнологій є використання метаболічно активних речовин у процесах вирощування сільськогосподарської продукції. Вони здатні значно активізувати фізіологічні та біохімічні процеси в рослинах, підвищувати їхню стійкість до стресових умов і сприяти забезпеченню високих показників врожайності. Особливу важливість має дослідження ефективності застосування метаболічно активних речовин негормональної природи, що включають амінокислоти, вітаміни, сполуки, подібні до вітамінів, органічні кислоти та макроелементи, які беруть участь у ключових процесах метаболізму. Зазначені сполуки здійснюють важливі регуляторні та структурні функції, прямо впливаючи на інтенсивність фотосинтетичних процесів, активність ферментних систем, синтез білків, нуклеїнових кислот та вторинних метаболітів. Амінокислоти виконують не лише роль структурних компонентів білків, але також виступають як сигнальні молекули, що контролюють адаптивні реакції рослинних організмів. Вітаміни й сполуки з вітаміноподібними властивостями активно залучені до функціонування антиоксидантної системи, сприяючи захисту клітин від ушкоджень, спричинених оксидативним стресом. Органічні кислоти беруть участь у регуляції кислотно-лужного балансу, входять до метаболічних шляхів циклу трикарбонових кислот і забезпечують ефективну мобілізацію поживних елементів. Макроелементи відіграють ключову роль як невід'ємні складові біомолекул, визначаючи перебіг основних енергетичних та пластичних процесів у клітині.

Питання щодо вивчення впливу метаболічно активних сполук на фізіолого-біохімічні показники сільськогосподарських рослин мають вагомe значення для наукового підґрунтя та розробки новітніх підходів до передпосівної обробки насіння і позакореневого живлення рослин, що, своєю чергою, дозволить збільшити продуктивність агроecosистем і забезпечити стабільність врожайів.

Ключові слова: метаболічно активні речовини, обробка насіння, амінокислоти, вітаміни, органічні кислоти, макроелементи.

В умовах сьогодення сільськогосподарське виробництво проходить непростий етап, спрямований на досягнення оптимального балансу між підтримкою стабільно високої врожайності культур і зменшенням негативного впливу на агроecosистеми.

Традиційні схеми, які базуються переважно на інтенсивному застосуванні мінеральних добрив і хімічних засобів захисту рослин, поступово досягають своїх меж, як з економічної, так і з екологічної точки зору. У цьому контексті все більшої популярності набуває використання метаболічно активних речовин негормональної природи. Ці сполуки можуть вкрай ефективно і цілеспрямовано сприяти регулюванню фізіолого-біохімічних процесів у рослинах, навіть при застосуванні їх у низьких концентраціях.

Сучасні дослідження доводять, що окрім традиційних фітогормонів, значну роль у регуляторних і метаболічних процесах відіграють такі речовини, як амінокислоти, вітаміни, вітаміноподібні речовини, органічні кислоти та макро- та мікроелементи [1, 2]. Незважаючи на їхню потенційну ефективність, особливо у системах позакореневого живлення рослин або при передпосівній обробці насіння, їхнє практичне застосування на сьогодні реалізується досить обмежено. Наукове ж обґрунтування комплексного використання цих сполук часто має нестійкий або невпорядкований характер, що створює певні виклики для впровадження нових підходів у сучасному агровиробництві [3].

Однією з провідних культур світового рослинництва є пшениця. Її посівні площі переважають у більшості країн, а її ключова роль у забезпеченні продовольчої безпеки людства пояснюється тим, що зерно цієї культури є основною сировиною для виробництва харчових продуктів. Завдяки високій поживній цінності, широкому спектру застосування та здатності адаптуватися до різних екологічних умов, пшениця отримала статус стратегічної культури у багатьох країнах. Вона становить значну частину національних продовольчих запасів і відіграє важливу роль у стабільності аграрного сектора економіки [4].

В Україні пшениця відіграє надзвичайно важливу роль, займаючи значну частку посівних площ і будучи однією з ключових стратегічних культур, що забезпечують продовольчу безпеку країни [5, 6]. Сучасні умови господарювання, кліматичні зміни та зростаючий попит на продовольство вимагають підвищення продуктивності пшениці та удосконалення методів її вирощування [5]. Особливі виклики постають через зміни клімату, такі як зростання температур під час вегетаційного періоду та зміна режимів вологості, що вкрай актуально для посушливих регіонів. Для досягнення стабільних і високих урожаїв необхідно постійно вдосконалювати технології агровиробництва [6].

У цьому контексті використання метаболічно активних речовин виглядає особливо перспективним і актуальним як невід'ємна складова сучасних підходів до вирощування зернових культур. Їх значення важко переоцінити, особливо в умовах зростаючої частоти абіотичних стресів, які дедалі рідше оминають українські степові та лісостепові регіони. Зважаючи на динамічні кліматичні зміни та збільшення числа екстремальних природних явищ, метаболічно активні речовини можуть слугувати дієвим інструментом для підтримання стабільності агроєкосистем і підвищення врожайності сільськогосподарських культур у несприятливих умовах [1].

Для розуміння механізмів впливу метаболічно активних речовин і обґрунтування їхньої доцільності у технологіях вирощування зернових культур важливо детально проаналізувати дію окремих груп цих сполук на ключові фізіологічні процеси на різних етапах онтогенезу рослин.

Польова схожість насіння виступає одним із важливих показників, що впливають на майбутню продуктивність сільськогосподарських культур. У сучасному рослинництві дедалі більше уваги приділяється застосуванню метаболічно активних речовин, які сприяють стимуляції проростання насіння та підвищують його здатність протистояти несприятливим умовам навколишнього середовища.

Амінокислоти належать до однієї із найбільш ґрунтовно досліджених груп метаболічно активних сполук у застосуванні для передпосівної обробки насіння. Обробка насіння γ -аміномасляною кислотою стимулює процес проростання, активуючи сигнальні шляхи, які регулюють генерацію пероксиду водню, який в оптимальних концентраціях виконує функцію позитивного сигналу, що ініціює проростання [7]. У

дослідженні [8] встановлено, що передпосівна обробка насіння пшениці 5-амінолевуліновою кислотою значно підвищує схожість насіння та стійкість пшениці до високих температур та нестачі вологи. Це забезпечує високий відсоток схожості насіння порівняно з контролем. У дослідженні [9] було встановлено, що використання стрес-протекторних сполук, зокрема амінокислоти проліну, сприяє значному покращенню фізіологічного стану рослин солодкого перцю за умов сольового стресу. Це позитивно позначається на ростових процесах на початкових етапах їх розвитку. Хоча основна увага в роботі приділяється вегетуючим рослинам, виявлені механізми, такі як зниження проникності мембран для електролітів, зменшення рівня малонового діальдегіду й активних форм кисню, а також підвищення активності антиоксидантних ферментів, є важливими і для процесів проростання насіння в умовах стресу. У дослідженні [10] було визначено, що позакоренева обробка рослин L-метіоніном за умов водного дефіциту позитивно впливала на ключові показники росту гарбуза. Зокрема, відзначалися збільшення сирі та сухої маси пагонів, а також зростання довжини як пагонів, так і коренів. Аналіз отриманих даних дозволив науковцям зробити висновок про здатність метіоніну стимулювати процеси росту. Це виявляється особливо важливим для ранніх фаз розвитку рослин, адже застосування цієї речовини сприяє підвищенню енергії проростання насіння та покращенню їх схожості навіть за умов стресових факторів навколишнього середовища [11]. У дослідженні [12] встановлено, що передпосівна обробка насіння сої амінокислотами, такими як аспарагінова кислота, глутамінова кислота, лейцин, пролін, лізин і валін, позитивно позначається на метаболічній активності проростків. Цей вплив виражається у значному посиленні системи антиоксидантного захисту рослин, а саме у підвищенні активності ключових ферментів – аскорбатпероксидази та глутатіонредуктази, які виконують важливу роль у нейтралізації активних форм кисню в листках сої. Це дозволяє значно знизити рівень оксидативного стресу на ранніх етапах розвитку рослин. Дослідники особливо наголошують на універсальності застосування амінокислот, які можуть використовуватись не лише для передпосівної обробки насіння, але й для позакореневого підживлення. Такі заходи виявилися ефективним механізмом регуляції росту та підвищення стійкості культури до стресових умов.

У дослідженні [13] встановили, що екзогенне застосування поліамінів, таких як спермін і путресцин, сприяє значному підвищенню посухостійкості пшениці. Незважаючи на те, що головна увага приділялася впливу цих речовин на вегетуючі рослини, важливо зазначити, що поліаміни також виконують надзвичайно важливі функції на початкових етапах розвитку рослин – зокрема, у процесі проростання насіння. Їхня роль полягає у регуляції поділу клітин, стимулюванні синтезу нуклеїнових кислот і забезпеченні захисту клітинних мембран від пошкодження, яке може бути спричинене оксидативним стресом. Виходячи з цього, передпосівна обробка насіння за допомогою поліамінів розглядається як перспективний і ефективний метод для підвищення енергії проростання насіння пшениці, а також забезпечення її високої польової схожості навіть за умов обмеженого зволоження.

Ключову роль у метаболічних процесах, що інтенсивно активуються під час проростання насіння, відіграють вітаміни та вітаміноподібні сполуки. В рамках наукового дослідження [14] було встановлено, що вітаміни, особливо вітаміни групи В, вітамін С та Е, виконують функцію як біостимулятори росту рослин. Це зумовлено їхньою участю в якості кофакторів ферментативних реакцій, регуляторними властивостями у функціонуванні сигнальних шляхів та захистом клітин від оксидативного стресу. Вітаміни групи В, такі як тіамін, піридоксин і ніацин, стимулюють роботу ключових ферментів дихального ланцюга, що забезпечує енергію для мобілізації запасних речовин ендосперму. У працях [1, 11] підкреслюється, що екзогенне застосування α -токоферолу істотно підвищує схожість насіння пшениці, сприяє розвитку кореневої системи і стимулює ріст пагонів в умовах посухи. Група американських вчених вивчала вплив передпосівної обробки насіння аскорбіновою кислотою (вітамін

С) на ріст та розвиток вігни (*Vigna unguiculata* L.) [15]. Встановлено, що обробка насіння розчином аскорбінової кислоти суттєво покращила енергію проростання, польову схожість, а також довжину та масу пагонів і коренів порівняно з контролем. Автори роблять висновок, що аскорбінова кислота діє як ефективний біостимулятор, який можна рекомендувати для покращення посівних якостей насіння та раннього росту рослин.

Поряд із вітамінами, органічні кислоти також відіграють важливу роль у регуляції метаболічних процесів в тканинах рослин. Досліджуючи вплив різних органічних кислот, таких як лимонна, яблучна, бурштинова та оцтова, на процес проростання насіння та початковий ріст проростків кількох видів рослин [16], групою вчених встановлено, що низькі концентрації цих кислот сприяли підвищенню енергії проростання і подовженню кореневої системи, тоді як високі концентрації проявили інгібуючий вплив. Найсильніший позитивний ефект мали бурштинова та лимонна кислоти, які сприяли активації α -амілази та підвищенню вмісту розчинних цукрів у проростках. Дослідники припустили, що стимулюючий ефект низьких концентрацій зумовлений посиленням дихального метаболізму та активізацією циклу Кребса. Досліджуючи вплив саліцилової кислоти на фізіологічні властивості сільськогосподарських культур вчені дійшли до висновку [17], що передпосівна обробка насіння саліциловою кислотою сприяє покращенню проростання і росту рослин в умовах стресу. Це відбувається завдяки активації антиоксидантних ферментів, таких як супероксиддисмутаза, каталаза і пероксидаза, які знижують рівень активних форм кисню та накопичення малонового діальдегіду. Саліцилова кислота також стимулює накопичення осмопротекторів, зокрема проліну та розчинних цукрів, що покращує водний баланс і стабільність мембранних структур рослин. Додатково, використання саліцилової кислоти підвищує кількість фотосинтетичних пігментів та ефективність фотосинтезу. Вона допомагає підтримувати іонний гомеостаз і модулює гормональний баланс: посилює синтез гіберелінів і знижує концентрацію абсцизової кислоти. Усі ці ефекти в сукупності значно покращують стресостійкість рослин, підвищують їх врожайність та якість продукції. В результаті порівняльного дослідження [18] впливу передпосівної обробки насіння ярої та озимої пшениці параоксibenзойною та саліциловою кислотою встановлено, що параоксibenзойна кислота підвищувала морозостійкість озимої пшениці та стійкість ярої пшениці до короткотривалої посухи. На відміну від параоксibenзойної кислоти, саліцилова кислота знижувала ці показники, навіть за умов підвищеної активності антиоксидантних ферментів. Тож, параоксibenзойна кислота є ефективнішим засобом для посилення стійкості пшениці до абіотичних стресів, таких як посуха та мороз, у порівнянні із саліциловою кислотою. При цьому позитивний ефект від її використання не завжди пов'язаний зі збільшенням активності антиоксидантних ферментів.

Окрім згаданих раніше органічних сполук, макроелементи відіграють надзвичайно важливу роль у складі метаболічно активних речовин. Макроелементи, такі як азот, фосфор, калій, кальцій, магній і сірка, виступають ключовими компонентами важливих біомолекул, зокрема білків, нуклеїнових кислот, хлорофілу та АТФ, забезпечуючи клітинам енергетичну підтримку, структурну цілісність та регуляторні функції [19]. Оптимальний рівень цих елементів визначає інтенсивність клітинного поділу, розвиток кореневої системи, активність фотосинтезу та загальну продуктивність рослин. Обробка насіння розчинами макроелементів перед посівом є результативним агротехнічним заходом, що забезпечує рослинам доступне живлення на ранніх стадіях розвитку, коли коренева система ще не сформувалась повністю. В дослідженні [20] показано, що використання макроелементів у складі сольових розчинів для передпосівної обробки насіння стимулює активізацію ранніх метаболічних процесів, включаючи підвищення ферментативної активності, посилення антиоксидантного захисту та стабілізацію клітинних мембран. Завдяки цьому досягається швидше і більш рівномірне проростання насіння, зростає життєздатність проростків і

поліпшується їх адаптаційний потенціал. Дослідження [21] підтверджує, що азотне живлення відіграє ключову роль у підвищенні врожайності озимої пшениці, а також у збільшенні вмісту білка в зерні. В дослідженні [22] продемонстровано, що перед-посівна обробка насіння пшениці солями калію та магнію є перспективним методом оптимізації посівних властивостей і стимулювання початкового розвитку рослин. Зокрема, замочування насіння у розчині KNO_3 призвело до значного підвищення енергії проростання та збільшення довжини проростків. Використання K_2SO_4 сприяло найбільшому подовженню коренів та наростанню сухої маси проростків, що має важливе значення для формування здорової кореневої системи. В дослідженні [23] було встановлено, що замочування насіння у розчині $MgSO_4$ позитивно впливає на низку фізіологічних показників. Така обробка сприяла підвищенню концентрації фотосинтетичних пігментів і білків, що, своєю чергою, покращує процеси фотосинтезу та загальне функціонування рослин у ранній фазі розвитку. Таким чином, застосування відповідних сольових розчинів може стати дієвим інструментом підвищення продуктивності зернових культур.

Висновки. Аналіз сучасних наукових досліджень засвідчує, що метаболічно активні речовини негормонального походження, до яких належать амінокислоти, вітаміни, вітаміноподібні речовини, органічні кислоти та макроелементи, є ефективними та екологічно безпечними засобами регуляції фізіолого-біохімічних процесів у сільськогосподарських рослин. Водночас їх ефективність демонструє значну варіабельність, яка зумовлена складною взаємодією різних факторів, зокрема біологічними особливостями культури, концентрацією активної сполуки, методом внесення та стадією розвитку рослин. Незважаючи на вагомий науковий доробок у дослідженні механізмів дії таких речовин, питання створення та адаптації біопрепаратів на їх основі для конкретних сільськогосподарських культур у різних ґрунтово-кліматичних умовах потребує подальшого ґрунтового вивчення. Отримані результати формують теоретичну базу і мають практичне значення для впровадження екологічно безпечних технологій, спрямованих на підвищення врожайності, покращення якості продукції та зміцнення стійкості сільськогосподарських культур до стресових факторів, що набуває особливої важливості в умовах глобальних кліматичних змін.

Список використаних джерел

1. Havii, V., Palyvoda, Y., Kuchmenko, O., Stamirowska-Krzaczek, E., Tomaszewska, M. & Kocira, A. Biochemical Mechanisms of Drought Resistance in Soft Wheat Under Modeling of Water Deficiency and Effects of Seed Treatment with Metabolically Active Substances. *Agricultural Engineering*, 2025. 29(1), 2025. 15-31. DOI: <https://doi.org/10.2478/agriceng-2025-0002>.
2. Bhatla S. C., Ranjan P., Singh N., Gogna M. Pure biochemicals and nanomaterials as next generation biostimulants for sustainable agriculture under abiotic stress – recent advances and future scope. *Plant Signaling & Behavior*. 2023. Vol. 18, no. 1. P. 2290336. DOI: <https://doi.org/10.1080/15592324.2023.2290336>
3. Ciriello M., Izzo L., Dopazo A. N., Campana E., Colla G., Corrado G., De Pascale S., Rouphael Y., El-Nakhel C. Differential Effects of Non-Microbial Biostimulants on Secondary Metabolites and Nitrate Content in Organic Arugula Leaves. *Foods*. 2025. Vol. 14, no. 14. P. 2489. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14142489>
4. Кириленко В. В., Рябчун В. К. Продуктивність сортів пшениці озимої залежно від умов вирощування. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 3. С. 45–52.
5. Strapchuk O., Manaloor V., Strapchuk S. Assessment of the impact of factors on the yield of strategic crops in Ukraine under climate change. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. 2026. Vol. 12, no. 1. P. 9. DOI: <https://doi.org/10.51599/are.2026.12.01.09>
6. Romero V., Schultz A.R., Powlen K., Shah S.D. Climate-smart agriculture for Ukraine: Winter wheat breeding for food security and climate adaptation. *U.S. Geological Survey, Department of Interior International Technical Assistance Program*. 2024. 62 p.

7. Yu, S., Lian, Z., Yu, L., Guo, W., Zhang, C., & Zhang, Y. (2024). Gamma-aminobutyric acid elicits H₂O₂ signalling and promotes wheat seed germination under combined salt and heat stress. *PeerJ*, 12, e17907. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.17907>.
8. Suliman M.S.E., et al. Seeds primed with 5-aminolevulinic acid mitigated temperature and drought stresses of wheat at germination and early seedling growth. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2022. Vol. 82, no. 1. P. 111-123. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392022000100111>
9. Abdelaal KAA, El-Maghraby LM, Elansary H, Hafez YM, Ibrahim EI, El-Banna M, El-Esawi M, Elkelish A. Treatment of sweet pepper with stress tolerance-inducing compounds alleviates salinity stress oxidative damage by mediating the physio-biochemical activities and antioxidant systems. *Agronom*. 2020; 10(1), 26. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10010026>
10. Akram NA, Umm-E-Hani M, Sadiq M, Ashraf M, Sadiq M. Exogenous application of L-methionine mitigates the drought-induced oddities in biochemical and anatomical responses of bitter melon (*Momordica charantia* L.). *Sci Hort*. 2020; 267:109333. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109333>
11. Паливода Ю.М., Гавій В.М., Кучменко О.Б. Фізіолого-біохімічні показники проростків пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.) при моделюванні водного дефіциту за дії метаболічно активних сполук. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*, 2021. № 3 (81). С. 44-54. DOI: <https://doi.org/10.25128/20782357.21.3.7>.
12. Teixeira WF, Fagan FB, Soares LH, Umburanas RC, Reichardt K, Neto DD. Foliar and seed application of amino acids affects the antioxidant metabolism of the soybean crop. *Front Plant Sci*. 2017;8:327. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00327>.
13. Hassan N, Ebeed H, Aljaarany A. Exogenous application of spermine and putrescine mitigate adversities of drought stress in wheat by protecting membranes and chloroplast ultra-structure. *Physiol Mol Biol Plants*. 2020;26(2):233–245. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00744-7>.
14. Boubakri H., Gargouri M., Mliki A., Brini F., Chong J., Jbir M. Vitamins for enhancing plant resistance to biotic and abiotic stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2022. Vol. 183. P. 12-23. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2552-0>.
15. Khadka, S., Khanal, A., Gairhe, B., & Thapa, V. R. (2025). Effect of Seed Priming by Ascorbic Acid on Seed Germination and Seedling Growth of Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Global Journal of Agricultural and Allied Sciences*, 6(1), 18-21. DOI: <https://doi.org/10.35251/gjaas.2025.010>
16. Nakasone Y., Kobayashi M., Tsurumi S. Effects of organic acids on seed germination and early seedling growth. *Journal of Plant Research*. 2018. Vol. 131. P. 47–55.
17. Decsi, K.; Ahmed, M.; Abdul-Hamid, D.; Tóth, Z. The Role of Salicylic Acid in Activating Plant Stress Responses – Results of the Past Decade and Future Perspectives. *Int. J. Mol. Sci*. 2025, 26, 4447. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms26094447>
18. Horvath E., Pál M., Szalai G., Paldi E., Janda T. Exogenous 4-hydroxybenzoic acid and salicylic acid modulate the effect of short-term drought and freezing stress on wheat plants. *Biologia Plantarum*. 2007. Vol. 51, no. 3. P. 480-487. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10535-007-0101-1>
19. Каленська С. М., Новицька Н. В., Андрійчук В. Г. Фізіологія рослин : навч. посіб. Київ : НАУ, 2018. 440 с.
20. Gohari G., Spanos A., Ioannou A., Efstathiou I., Panahirad S., Kolbert Z., Fotopoulos V. Seed priming approaches for climate-resilient agriculture. *Journal of Experimental Botany*. 2026. Vol. 77, No. 7. P. 2013–2026. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/eraf440>
21. Іваніна В., Коротенко І. Вплив доз і способів унесення азотних добрив на врожайність та якість зерна пшениці озимої. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 11 (836). С. 5-12. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202211-01>.
22. Yadav, R.; Gupta, M.; Salman, M.; Gupta, P.; Jyoti Standardization of Halo-priming and Nutri-priming for enhancing seed quality parameters in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Int. J. Chem. Stud*. 2021, 9, 3540–3546, DOI: <https://doi.org/10.22271/chemi.2021.v9.i1ax.11780>.
23. Kanjevac, M., Bojovic, B., Jakovljevic, D. Improvement of physiological performance of selected cereals by modulating pregerminative metabolic activity in seeds. *CEREAL RESEARCH COMMUNICATIONS*. 2022, 50, 831–839. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42976-021-00213-6>.

References

1. Havii, V., Palyvoda, Y., Kuchmenko, O., Stamirowska-Krzaczek, E., Tomaszewska, M., & Kocira, A. (2025). Biochemical mechanisms of drought resistance in soft wheat under modeling of water deficiency and effects of seed treatment with metabolically active substances. *Agricultural Engineering*, 29(1), 15–31. <https://doi.org/10.2478/agriceng-2025-0002>. [in English]
2. Bhatla, S. C., Ranjan, P., Singh, N., & Gogna, M. (2023). Pure biochemicals and nanomaterials as next generation biostimulants for sustainable agriculture under abiotic stress – recent advances and future scope. *Plant Signaling & Behavior*, 18(1), 2290336. <https://doi.org/10.1080/15592324.2023.2290336>. [in English].
3. Ciriello, M., Izzo, L., Dopazo, A. N., Campana, E., Colla, G., Corrado, G., De Pascale, S., Roupheal, Y., & El-Nakhel, C. (2025). Differential effects of non-microbial biostimulants on secondary metabolites and nitrate content in organic arugula leaves. *Foods*, 14(14), 2489. <https://doi.org/10.3390/foods14142489>. [in English].
4. Kyrylenko, V. V., & Riabchun, V. K. (2021). Produktyvniyst sortiv pshenytsi ozymoi zalezno vid umov vyroshchuvannia [Productivity of winter wheat varieties depending on growing conditions]. *Visnyk ahramoi nauky [Bulletin of Agricultural Science]*, (3), 45–52. [in Ukrainian].
5. Strapchuk, O., Manaloor, V., & Strapchuk, S. (2026). Assessment of the impact of factors on the yield of strategic crops in Ukraine under climate change. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*, 12(1), 9. <https://doi.org/10.51599/are.2026.12.01.09>. [in English].
6. Romero, V., Schultz, A. R., Powlen, K., & Shah, S. D. (2024). Climate-smart agriculture for Ukraine: Winter wheat breeding for food security and climate adaptation. *U.S. Geological Survey*. [in English].
7. Yu, S., Lian, Z., Yu, L., Guo, W., Zhang, C., & Zhang, Y. (2024). Gamma-aminobutyric acid elicits H₂O₂ signalling and promotes wheat seed germination under combined salt and heat stress. *PeerJ*, 12, e17907. <https://doi.org/10.7717/peerj.17907>. [in English].
8. Suliman, M. S. E., et al. (2022). Seeds primed with 5-aminolevulinic acid mitigated temperature and drought stresses of wheat at germination and early seedling growth. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 82(1), 111–123. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392022000100111>. [in English].
9. Abdelaal, K. A. A., El-Maghraby, L. M., Elansary, H., Hafez, Y. M., Ibrahim, E. I., El-Banna, M., El-Esawi, M., & Elkelish, A. (2020). Treatment of sweet pepper with stress tolerance-inducing compounds alleviates salinity stress oxidative damage by mediating the physio-biochemical activities and antioxidant systems. *Agronomy*, 10(1), 26. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010026>. [in English].
10. Akram, N. A., Umm-E-Hani, M., Sadiq, M., & Ashraf, M. (2020). Exogenous application of L-methionine mitigates the drought-induced oddities in biochemical and anatomical responses of bitter melon (*Momordica charantia* L.). *Scientia Horticulturae*, 267, 109333. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109333>. [in English].
11. Palyvoda, Y. M., Havii, V. M., & Kuchmenko, O. B. (2021). Fiziolo-ho-biokhimichni pokaznyky prorostkiv pshenytsi miakoi (*Triticum aestivum* L.) pry modeliuvanni vodnoho defitsytu za dii metabolichno aktyvnykh spoluk [Physiological and biochemical indices of soft wheat seedlings under simulated water deficit and action of metabolically active compounds]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriya: Biolo-hiia [Scientific Notes of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Biology]*, (3), 44–54. <https://doi.org/10.25128/2078-2357.21.3.7>. [in Ukrainian]
12. Teixeira, W. F., Fagan, F. B., Soares, L. H., Umburanas, R. C., Reichardt, K., & Neto, D. D. (2017). Foliar and seed application of amino acids affects the antioxidant metabolism of the soybean crop. *Frontiers in Plant Science*, 8, 327. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00327>. [in English].
13. Hassan, N., Ebeed, H., & Aljaarany, A. (2020). Exogenous application of spermine and putrescine mitigate adversities of drought stress in wheat by protecting membranes and chloroplast ultra-structure. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26(2), 233–245. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00744-7>. [in English].

14. Boubakri, H., Gargouri, M., Mliki, A., Brini, F., Chong, J., & Jbir, M. (2022). Vitamins for enhancing plant resistance to biotic and abiotic stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, 183, 12–23. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2552-0>. [in English].
 15. Khadka, S., Khanal, A., Gairhe, B., & Thapa, V. R. (2025). Effect of seed priming by ascorbic acid on seed germination and seedling growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Global Journal of Agricultural and Allied Sciences*, 6(1), 18–21. <https://doi.org/10.35251/gjaas.2025.010>. [in English].
 16. Nakasone, Y., Kobayashi, M., & Tsurumi, S. (2018). Effects of organic acids on seed germination and early seedling growth. *Journal of Plant Research*, 131, 47–55. [in English].
 17. Decsi, K., Ahmed, M., Abdul-Hamid, D., & Tóth, Z. (2025). The role of salicylic acid in activating plant stress responses – results of the past decade and future perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, 26, 4447. <https://doi.org/10.3390/ijms26094447> [in English].
 18. Horváth, E., Pál, M., Szalai, G., Páldi, E., & Janda, T. (2007). Exogenous 4-hydroxybenzoic acid and salicylic acid modulate the effect of short-term drought and freezing stress on wheat plants. *Biologia Plantarum*, 51(3), 480–487. <https://doi.org/10.1007/s10535-007-0101-1>. [in English].
 19. Kalenska, S. M., Novytska, N. V., & Andriichuk, V. H. (2018). Fiziologia roslin [Plant physiology]. Kyiv: NAU. [in Ukrainian].
 20. Gohari, G., Spanos, A., Ioannou, A., Efstathiou, I., Panahirad, S., Kolbert, Z., & Fotopoulos, V. (2026). Seed priming approaches for climate-resilient agriculture. *Journal of Experimental Botany*, 77(7), 2013–2026. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraf440>. [in English].
 21. Ivanina, V., & Korotenko, I. (2022). Vplyv doz i sposobiv unesennia azotnykh dobriv na vrozhaist ta yakist zerna pshenytsi ozymoi [Influence of doses and methods of nitrogen fertilizer application on yield and grain quality of winter wheat]. *Visnyk ahromoi nauky [Bulletin of Agricultural Science]*, (11), 5–12. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202211-01>. [in Ukrainian].
 22. Yadav, R., Gupta, M., Salman, M., Gupta, P., & Jyoti. (2021). Standardization of halo-priming and nutri-priming for enhancing seed quality parameters in wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Chemical Studies*, 9, 3540–3546. <https://doi.org/10.22271/chemi.2021.v9.i1ax.11780>. [in English].
 23. Kanjevac, M., Bojović, B., Jakovljević, D. (2022). Improvement of physiological performance of selected cereals by modulating pregerminative metabolic activity in seeds. *Cereal Research Communications*, 50, 831–839. <https://doi.org/10.1007/s42976-021-00213-6>. [in English].
-

Vashchenko R.

Postgraduate Student, Department of Biology
Nizhyn Mykola Gogol State University
vashchenkor00@gmail.com
orcid.org/0009-0004-3894-4549

Palyvoda Yu.

Doctor of Philosophy,
Lecturer of the Department of Biology
Nizhyn Mykola Gogol State University
yulia.palivoda@gmail.com
orcid.org/0000-0001-6544-3441

INFLUENCE OF METABOLICALLY ACTIVE COMPOUNDS ON THE PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICATORS OF AGRICULTURAL PLANTS

Ensuring high yields and biological productivity of agricultural crops continues to be a key task of modern crop production. One of the promising ways to improve agricultural technologies is the use of metabolically active substances in the processes of growing

agricultural products. They are able to significantly activate physiological and biochemical processes in plants, increase their resistance to stress conditions and contribute to ensuring high yield rates. Of particular importance is the study of the effectiveness of the use of metabolically active substances of a non-hormonal nature, including amino acids, vitamins, vitamin-like compounds, organic acids and macroelements that participate in key metabolic processes. These compounds perform important regulatory and structural functions, directly affecting the intensity of photosynthetic processes, the activity of enzyme systems, the synthesis of proteins, nucleic acids and secondary metabolites. Amino acids perform not only the role of structural components of proteins, but also act as signaling molecules that control the adaptive reactions of plant organisms. Vitamins and compounds with vitamin-like properties are actively involved in the functioning of the antioxidant system, contributing to the protection of cells from damage caused by oxidative stress. Organic acids participate in the regulation of acid-base balance, enter the metabolic pathways of the tricarboxylic acid cycle and ensure effective mobilization of nutrients. Macroelements play a key role as integral components of biomolecules, determining the course of the main energy and plastic processes in the cell.

The issues of studying the influence of metabolically active compounds on the physiological and biochemical parameters of agricultural plants are of great importance for the scientific basis and development of new approaches to pre-sowing seed treatment and foliar plant nutrition, which, in turn, will allow increasing the productivity of agroecosystems and ensuring crop stability.

Key words: metabolically active substances, seed treatment, amino acids, vitamins, organic acids, macroelements.

*Стаття до редакції надійшла 27.03.2026 року
Рецензія на статтю надійшла 14.04.2026 року*