

ПОЗАКОРЕНЕВЕ ПІДЖИВЛЕННЯ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

О.С. Дем'янюк, О.П. Полтава

Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: demolena@ukr.net; ORCID: 0000-0002-4134-9853

e-mail: o.poltava@profi.land; ORCID: 0009-0006-3007-6550

В умовах зростаючих викликів продовольчої безпеки та негативного впливу змін клімату стратегічного значення набуває підвищення ефективності аграрного виробництва, зокрема шляхом оптимізації живлення рослин. Одним із таких способів є позакореневе підживлення, що забезпечує швидке та ефективне надходження поживних речовин у рослини, особливо в періоди, коли поглинання елементів живлення з ґрунту обмежене. Метою дослідження є узагальнення наукових підходів і практичного досвіду застосування позакореневого підживлення як ефективного способу збільшення врожайності основних зернових культур (пшениця, кукурудза, рис, жито, ячмінь, овес, просо). Здійснено бібліографічний пошук і контент-аналіз публікацій у міжнародних і національних наукових базах, використано методи порівняльного та аналітично-оглядового аналізу. Результати дослідження показали, що позакореневе внесення добрив сприяє підвищенню врожайності та якості зерна (пшениці, кукурудзи, рису, ячменю, жита, вівса та проса). Підживлення у критичні фази росту стимулює фізіолого-біохімічні процеси, збільшує вміст хлорофілу, активність фотосинтезу, накопичення білка і вуглеводів, поліпшує структуру врожаю та елементи продуктивності. Особливо ефективним є застосування комплексних добрив, мікроелементів (Zn, B, Mn, Cu, Si, S та ін.), органіко-мінеральних і наноформ, що посилюють засвоєння поживних речовин, стійкість рослин до посухи, засолення. Позакореневе підживлення також зменшує екологічне навантаження на агроєкосистеми завдяки зниженню втрат азоту, покращанню ефективності використання поживних елементів добрив і зменшенню ризиків забруднення ґрунтів. Отже, такий спосіб внесення добрив є невід'ємним елементом інтегрованого управління живленням рослин і важливою складовою сталого землеробства, спрямованого на підвищення продуктивності сільськогосподарських культур, збереження родючості ґрунтів і забезпечення продовольчої безпеки.

Ключові слова: *живлення рослин, удобрення рослин, технологія вирощування, зернові культури, врожайність, якість продукції, ефективність, мікроелементи, стійкість.*

ВСТУП

З підвищенням уваги до продовольчої безпеки та зростаючою негативною дією змін клімату постає стратегічне завдання посилення ефективності аграрного сектору [1; 2], що передбачає застосування сучасних інноваційних методів та сталих практик.

У низці агротехнологічних заходів вирощування сільськогосподарських культур чільне місце займають технології живлення рослин [3], які дають змогу підвищити врожайність та якість вирощеної продукції, поліпшити агрохімічні показники ґрун-

ту, знизити негативний вплив на навколишнє природне середовище.

Сучасне землеробство функціонує в умовах загострення наслідків кліматичних змін, інтенсивної експлуатації ґрунтів та виснаження їхньої родючості, що обмежує реалізацію генетичного потенціалу сільськогосподарських культур. Наслідком деградації ґрунтів в агроєкосистемах є зниження потенційної та актуальної родючості, що визначається втратою органічної речовини, зменшенням вмісту основних макро-, мезо- і мікроелементів, та негативно впливає на ріст і розвиток сільськогосподарських культур, а також на про-

дуктивність агроценозів та економічну ефективність виробництва [4]. В таких умовах оптимізація живлення рослин має одне із ключових завдань збільшення продуктивності сільськогосподарських культур та переходу до більш сталих агроценозів [3].

Розроблення та впровадження ефективних технологій удобрення, зокрема позакореневого підживлення та інтегрованих систем живлення, дає змогу підвищити використання елементів живлення добрив, поліпшити фізіологічний стан рослин та їх імунітет, забезпечити стабільне зростання врожайності, знизити втрати продуктивності через стресові чинники та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище. Тому, дослідження ефективних способів забезпечення сільськогосподарських культур збалансованим живленням залишається актуальним завданням сучасної аграрної науки та виробництва.

Мета роботи — проаналізувати наукові підходи та практичний досвід застосування позакореневого підживлення як ефективного способу підвищення врожайності основних зернових культур, розкрити переваги та перспективи позакореневого підживлення.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У процесі дослідження використано комплекс наукових методів, спрямованих на узагальнення результатів застосування позакореневого підживлення основних зернових культур (пшениця, кукурудза, рис, жито, ячмінь, овес, просо). Здійснено бібліографічний пошук наукових джерел у міжнародних і національних базах та їх контент-аналіз для виявлення основних тенденцій і отриманих результатів. Застосовано методи порівняльного аналізу, а також систематизації та узагальнення для формування висновків. Аналітично-оглядовий метод дав змогу критично оцінити результати сучасних наукових досліджень та окреслити перспективи у цій сфері.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Розроблення більш ефективних та сталих методів ведення сільського господарства знаходиться в центрі уваги дослідників в усьому світі, оскільки глобальні проблеми, як-от зміни клімату, посилення розвитку деградаційних процесів та втрата природних ресурсів негативно впливають на продуктивність агроєкосистем.

Результати досліджень свідчать, що наразі традиційні методи удобрення стають менш ефективними та часто спричиняють негативні наслідки на навколишнє середовище. Тривале використання мінеральних добрив у високих нормах внесення сприяло зростанню продуктивності сільськогосподарських культур, але водночас призвело до забруднення ґрунтів і водних джерел, втрати біорізноманіття, негативно вплинуло на здоров'я людини [5].

Основними зерновими культурами світу є пшениця, рис та кукурудза, які називають «трьома хлібами людства» і є важливими у гарантуванні продовольчої безпеки світу [6]. До інших необхідних зернових культур належать ячмінь, овес, жито та просо, які в певних регіонах світу займають провідні позиції у забезпеченні якісного і поживного харчування.

Зерновим культурам для формування якісного зерна потрібне повноцінне постачання поживними елементами, що впродовж тривалого часу забезпечувалось через внесення мінеральних добрив. Однак зазначають про доволі високі втрати азоту з внесених мінеральних добрив. За оцінками понад 60% азоту, що вноситься у формі сечовини, втрачається в навколишньому середовищі [7]. З азоту, що потрапляє в навколишнє середовище від додавання добрив, приблизно 1/3 денітрифікується до N_2 , 1/3 — потрапляє в ґрунтові води у вигляді нітратів, а 1/3 — вивільняється у вигляді N_2O і спричиняє руйнування озонового шару [8].

Тому сучасні дослідження спрямовано на вирішення багатогранних можливостей збалансованого забезпечення сільськогосподарських культур поживними елементами.

ми за одночасного зниження екологічних проблем. Зокрема, розробляються інноваційні підходи до покращання живлення рослин, що виходять за рамки традиційних методів, приділяється увага підвищенню ефективності використання поживних речовин добрив, технологічним аспектах внесення добрив, розробці нових форм добрив та їх екологічній безпеці.

Одним із таких технологічних рішень є позакореневе підживлення, що використовується для доповнення за основного удобрення рослин, гарантуючи більш ефективне рішення проблеми дефіциту поживних речовин [9; 10]. Коли поглинання поживних речовин із ґрунту гальмується з різних причин, позакореневе підживлення може бути альтернативним та високоефективним рішенням компенсації дефіциту поживних речовин для рослини.

Такий спосіб внесення добрив забезпечує оптимальні умови для росту та розвитку рослин, формування імунітету та стійкості рослин до біотичних й абіотичних чинників, що робить його важливою частиною інтегрованої стратегії боротьби зі шкідниками і хворобами. Серед переваг позакореневого внесення добрив є швидке та легке проникнення і засвоєння поживних речовин рослинами, низькі концентрації добрив, можливість поєднання із засобами захисту рослин [10]. Науково обґрунтоване застосування такого способу внесення добрив не лише позитивно впливає на рослину, а також зменшує негативний вплив на навколишнє середовище та підвищує рентабельність виробництва [11].

Наприклад, вирощування пшениці м'якої і твердої із позакореневим підживленням азотом гарантувало отримання максимальних урожаїв із високим вмістом білка в зерні [12; 13]. Дослідники зазначають, що такий спосіб внесення азоту в період після цвітіння підвищує його вміст у зерні й сприяє подовженню активного функціонування фотосинтетичного апарату рослин унаслідок зменшення конкуренції за азотовмісні сполуки між ним і зернівками [14].

Виявлено збільшення кількості колосків та зерен у колосі, масу 1000 зерен за позакореневого внесення сечовини (в концентрації 1–5%) у посівах пшениці до цвітіння [15]. Також додавання помірних доз азоту по вегетації рослин стримує старіння листків та подовжує період наливу зерна [16]. Крім того, показано, що незначна кількість азоту, що потрапляє в ґрунт за позакореневого підживлення, підтримує високу ефективність засвоєння та використання азоту з ґрунту рослинами пшениці. Це також має позитивний вплив на навколишнє середовище через зменшення на 25–40% азотного навантаження на агроценози [12].

Підживлення препаратами «НАЙС зернові» і «Акселератор Мікро» на фоні внесення мінеральних добрив забезпечило зростання врожайності відповідно на 7,9% і 11,5%, вмісту клейковини в зерні — на 20,9% і 14,4%, вмісту білка — до 13,6% і 14,1% відповідно. Такі показники структури врожаю як довжина стебла та колоса, кількість колосків у колосі, маса одного колоса і 1000 насінин, натура зерна були найкращими за позакореневого підживлення рослин пшениці комплексним добривом «Акселератор Мікро» (1,5 кг/га) на початку IV і V етапу органогенезу [17].

Позакореневе підживлення рослин пшениці комплексним добривом YaraVita Gramitrel, YaraVita Kombiphos, YaraVita Thiotrac із різним умістом мікроелементів позитивно діяло на стан живлення рослин (індекс SPAD) та площу листків порівняно з контролем. Фіксували зростання врожайності після позакореневого підживлення, а також підвищення вмісту білка та мікроелементів [18].

У критичні фази розвитку рослин кукурудзи (цвітіння та налив зерна) позакореневе підживлення посилило вміст вуглеводів та білка в зерні, рівень ліпідів, збільшило масу 1000 зерен та їх розмір [19]. Зменшуючи перекисне окислення ліпідів у рослинах та підтримуючи гомеостаз, цей спосіб внесення добрив є більш ефективним у підвищенні врожайності кукурудзи в стресових умовах, зокрема в умовах по-

сухи [20; 21]. Дослідження підтвердили, що двократне фоліарне підживлення кукурудзи (у фазі 3–5 і 6–8 листків) органомінеральними добривами, збалансованими за вмістом макро- і мікроелементів із додаванням біологічно активних речовин, позитивно вплинуло на ріст і розвиток рослин, на формування структури врожаю та підвищення загальної продуктивності [22].

Серед зернових культур особливе місце займає рис, який за прогнозами стане основним джерелом харчування для майже 9 млрд людей до 2050 р. Щоб задовольнити цей попит, виробництво рису має збільшитись щонайменше на 60%, а тому численні дослідження спрямовано на пошук ефективних шляхів зростання врожайності цієї культури. Серед таких агрозаходів позакореневе підживлення рису набуває поширеності. Зокрема, зважаючи на те, що рослини рису більш схильні до солявого стресу, ніж інші культури, ведеться пошук препаратів для зниження такого стресу. Наприклад, встановлено позитивний вплив оброблення рослин розчином сульфату магнію за вирощування на засолено-лужних ґрунтах, що проявлявся у підвищенні активності ферментів, та вмісту хлорофілу у прапорцевому листку, затримці в'янення кінчиків листків та у такий спосіб покращанні фотосинтетичної активності рослин рису. Крім того, обробка розчином сульфату магнію значно зменшила накопичення токсичних іонів натрію у рисі порівняно з необробленим контролем та сприяло підвищенню врожайності [23].

Для посилення стійкості рису до водного стресу, особливо на критичних стадіях росту, рекомендовано позакореневе обприскування рослин діоксидом кремнію (400 мг/л). Цей агрозахід забезпечує поліпшення фізіологічних та біохімічних параметрів, а також ріст рослин в умовах посухи. Зокрема, за застосування діоксиду кремнію фіксували зниження вмісту малонового діальдегіду в листках рослин рису, збільшення вмісту фотосинтетичних пігментів та проліну, підвищення стійкості рослин у стресових умовах посухи. Поліп-

шення фізіологічного стану рослин дало змогу не лише зменшити вплив стресу від посухи, але й підвищити врожайність та покращити якісні показники зерна [24].

Встановлено, що позакореневе внесення поживних речовин (комплекс N, P, K, Fe, B, Zn, Mn, Cu) у період кушення — формування волоті істотно впливає на висоту рослин, кількість пагонів на рослині, концентрацію хлорофілу в листках, кількість виповнених зерен на рослині та врожайність зерна. Крім того, позакореневе внесення поживних речовин позитивно вплинуло на фізіологічні показники, включаючи індекс площі листків, інтенсивність ростових процесів та накопичення сухої маси рослинами [25].

Низкою польових дослідів показано ефективність позакореневого підживлення рослин рису комплексом мікроелементів. Зокрема, обприскування рослин комплексним препаратом Boost Xtra (150 мл/15 л води) на стадії формування волоті зафіксувало позитивний вплив на вміст хлорофілу в рослині, висоту та накопичення біомаси, показники структури врожаю (кількість волоті на рослину, кількість зерен на волоть, відсоток дозрілих зерен та їх масу) та загальну врожайність [26].

Інші польові випробування виявляли, що позакореневе підживлення рослин рису комплексом мікроелементів (Zn, B, Mg, S) у різних поєднаннях було ефективним лише за умови основного удобрення NPK та відсутності посухи [27].

Встановлено, що нанодобрива на основі сірки та кремнію (S–Si, 4 мл/л) є перспективним рішенням для підвищення врожайності рису за вирощування на ґрунтах із низьким вмістом азоту та калію. Внаслідок покращання поглинання поживних речовин із ґрунту, рослини рису були вищими, формували більшу кількість пагонів та листків на рослині. Також поліпшувались такі біохімічні показники, як вміст вітаміну C, розчинного білка, відновлювальних цукрів, фенольних сполук та флавоноїдів [28].

Подібні позитивні результати отримано і для інших зернових культур. Так, вирощу-

вання проса на фоні основного удобрення мінеральними добривами із підживленням мікродобривом (Браман мультикомплекс, 2,0 л/га) у фазі кушення дало змогу рослинам сформувати максимальну висоту, найбільшу надземну біомасу, кількість гілочок другого порядку та відповідно отримати найвищу врожайність зерна [29].

Також показано, що позакореневе внесення наночастинок ZnO (2,6 мг/л) за вирощування проса покращує ефективність фотосинтезу, транспірацію і ферментативну активність та водночас знижує індекс водного стресу рослин. Це зрештою мало позитивний вплив на масу 1000 зерен та врожайність зерна [30].

Дослідженнями В. Мусіч та О. Присяжнюка [31; 32] було встановлено, що вирощування проса прутopodobного на кислих та малопродуктивних ґрунтах із застосуванням позакореневого підживлення гуматами (гумат калію (Гуміфід), 50 г/га) та антистресантом (АміноСтар, 1,0 л/га) дає змогу отримати максимальну врожайність сухої біомаси (6,1 т/га), уміст клітковини у листках і стеблах (55,3% і 55,6% відповідно) та вихід енергії з отриманим урожаєм (102,4–102,5 ГДж/га) [31]. Досліджувані технологічні елементи позитивно вплинули на якість сировини, що свідчить про зменшення інтенсивності поглинання деяких важких металів і їх накопичення в сухій речовині [32].

Досліджуючи ефективність різних препаратів для позакореневого підживлення жита за вирощування на бідних піщаних ґрунтах було виявлено їх диференційований вплив на врожайність та якісні показники зерна. Зокрема, обробка рослин у фазі формування першого міжвузля препаратом Басфоліар 36 Екстра (8 л/га) забезпечило одержання максимальної врожайності. Натомість позакореневе підживлення препаратом Polyactiv Mn (2,5 л/га) було ефективним як у підвищенні врожайності, так і поліпшенні якісних показників зерна [33]. Позитивну реакцію рослин жита на позакореневе підживлення мікроелементами (Zn, Mn) описано в досліджах А. Stepień з колегами [34]. Встановлено, що удобрен-

ня мінеральними добривами та позакореневе підживлення мікроелементами збільшили вміст білка в зерні жита.

Результати дослідження визначили, що позакореневе удобрення ячменю ярого азотом (2,0%) у фазі кушення та у фазі виходу в трубку сприяло формуванню максимальної висоти рослин (66,7 см), кількості пагонів (490,7 шт./м²), довжини колоса (8,3 см), кількості зерен у колосі (35,0 шт.), маси 1000 насінин (30,3 г), біологічної врожайності (7,1 т/га) та врожайності зерна (3,1 т/га). Зменшення концентрації до 1,0% азоту та позакореневе внесення у фазі кушення та виходу в трубку дало аналогічні результати, що виявилось найкращим способом отримання оптимального врожаю ячменю та є більш економічно вигідним [35].

В. Stadnik із співавт. [36] підтвердили значний економічний та екологічний аспект вирощування ячменю із позакореним внесенням мікродобрив, до складу яких включено мікроелементи Cu, Mn, Mo або Zn. Результати показали, що такий агрозахід зумовив покращання окремих елементів структури врожаю та збільшення врожайності зерна.

Під час вирощування вівса встановлено високу ефективність використання азоту з рідкого добрива N-Tor® шляхом позакореневого його внесення, що було на рівні удобрення сечовиною. Втім автори зазначають про зростання вартості такої технології і не рекомендують її в промислових масштабах [37].

Вирощування вівса в умовах Полісся України із позакореним підживленням рідким комплексним добривом (Rost концентрат N₁₄P₇K₇ + мікроелементи) у фазі сходів, кушення та виходу у трубку зафіксувало високу ефективність щодо поліпшення загального стану посівів, збільшення висоти рослин (на 3–7 см) та густоти рослин (на 21–38 шт./м²), зростання врожайності зерна та отримання приросту на рівні 1,13–1,20 т/га [38].

Застосування позакореневого підживлення рослин такими мікроелементами, як кремній і сірка у посівах вівса підвищує

стійкість рослин до абіотичних чинників — посухи та засолення ґрунту. Так, позакореневе підживлення кремнієвими та сірчаними добривами спричинило різницю в швидкості фотосинтезу, загальній провідності до CO_2 , транспірації, ефективності використання води, площі листків, вмісту хлорофілу та каротиноїдів, масі 1000 зерен та врожайності вівса озимого. Внесення кремнію значно збільшило швидкість фотосинтезу (16,8–149,3%), транспірацію (5,4–5,6), вміст хлорофілу (1,0) та каротиноїдів (2,5%), урожайність зросла на 10,2% (Si) та 8,0% (Si + S) [39].

В умовах засоленого ґрунту позакореневе підживлення рослини вівса кремнієм (Optysil 0,1% або 0,2%) зменшує сольовий стрес, збільшує вміст хлорофілу в листках, наростання біомаси, нормалізує процеси газообміну [40].

ВИСНОВКИ

Аналіз наукових публікацій показав, що використання позакореневого підживлення рослин є поширеною практикою у виробництві зернових культур в усьому світі. Цей спосіб забезпечення зернових культур мікро-, мезо- і макроелементами є економічно й екологічно виправданим, розглядається як сталий метод управління мінеральним живленням рослин та є складовою сучасних агротехнологій.

В умовах виснаження ґрунту і дефіциту ресурсів застосування позакореневого підживлення в доповненні з мікроелементами у критичні фази розвитку рослин покращує поглинання поживних речовин із ґрунту, стимулює фізіологічні й біохімічні процеси в рослинах, підвищує стійкість до біотичних та абіотичних стресів, врожайність, а також якісні показники зерна.

ЛІТЕРАТУРА

- Islam, S. (2025). Agriculture, food security, and sustainability: a review. *Explor Foods Foodomics*, 3, 101082. DOI: <https://doi.org/10.37349/eff.2025.101082>.
- Mutale, B., Dai, S., Chen, Z., & Maulu, S. (2025). Enhancing food security amid climate change: assessing impacts and developing adaptive strategies. *Cogent Food & Agriculture*, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2025.2519800>.
- Hernandez, L. E., Ruiz, J. M., Espinosa, F., Alvarez-Fernandez, A., & Carvajal, M. (2024). Plant nutrition challenges for a sustainable agriculture of the future. *Physiologia plantarum*, 176(6), e70018. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppl.70018>.
- Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, 105078. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>.
- Gnanaprakasam, P. D., & Vanisree, A. J. (2022). Recurring detrimental impact of agrochemicals on the ecosystem, and a glimpse of organic farming as a possible rescue. *Environmental Science of Pollution Research*, 29(1–4), 75103–75112. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22750-1>.
- Wrigley, C. W., & Nirmal, R. C. (2017). The major cereal grains: corn, rice, and wheat. In: *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. DOI: <https://doi.org/10.1002/0471238961.23080501.a01.pub3>.
- Beig, B., Niazi, M. B. K., Jahan, Z., Hussain, A., Zia, M. H., & Mehran, M. T. (2020). Coating materials for slow release of nitrogen from urea fertilizer: a review. *Journal of Plant Nutrition*, 43(6), 1510–1533. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1744647>.
- Good, A. G., & Beatty, P. H. (2011). Fertilizing nature: A tragedy of excess in the commons. *PLoS Biol*, 9, e1001124. DOI: [10.1371/journal.pbio.1001124](https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001124).
- Niu, J., Liu, C., Huang, M., Liu, K., & Yan, D. (2021). Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives. *J. Soil Sci. Plant Nutr*, 21, 104–118. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3>.
- Patil, B., & Chetah, H. T. (2018). Foliar fertilization of nutrients; A review. *Marumegh*, 3, 49–53.
- Гангур, В. В., Кочерга, А. А., Пипк, О. С., & Лень, О. І. (2021). Ефективність мікродобрив за умови обробки насіння та листового підживлення посівів пшениці озимої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 2, 46–51. DOI: [10.31210/visnyk2021.02.05](https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.05).
- Ferrari, M., Dal Cortivo, C., Panozzo, A., Barion, G., Visioli, G., Giannelli, G., & Vamerali, T. (2021). Comparing soil vs. foliar nitrogen supply of the whole fertilizer dose in common wheat. *Agronomy*, 11(11), 2138. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11112138>.
- Visioli, G., Bonas, U., Dal Cortivo, C., Pasini, G., Marmiroli, N., Mosca, G., & Vamerali, T. (2018). Variations in yield and gluten proteins in durum wheat varieties under late-season foliar versus soil application of nitrogen fertilizer in a northern Mediterranean environment. *J. Sci. Food Agric*, 98(6), 2360–2369. DOI: [10.1002/jsfa.8727](https://doi.org/10.1002/jsfa.8727).
- Vaguseviciene, I., Burbulis, N., Jonytiene, V., & Vainsauskiene, R. (2012). Influence of nitrogen fertilization on winter wheat physiological parameters and productivity. *J. Food Agricult. Environ*, 10(3–4), 733–736.

15. Wagan, Z. A., Buriro, M., Wagan, T. A., Wagon, Z. A., Jamro, S. A., Memon, Q. U. A., & Wagan, S. A. (2017). Effect of foliar applied urea on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Int. J. Bioorg. Chem.*, 2, 185–191.
16. Blandino, M., Visioli, G., Marando, S., Marti, A., & Reyneri, A. (2020). Impact of late-season N fertilisation strategies on the gluten content and composition of high protein wheat grown under humid Mediterranean conditions. *J. Cereal Sci.*, 94, 102995. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102995>.
17. Коткова, Т. М., & Довбиш, Л. Л. (2023). Вплив позакореневого (фоліарного) підживлення рослин пшениці озимої на урожай і якість зерна. *Український журнал природничих наук*, 3, 176–185. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.3.2023.176-185>.
18. Jarecki, W., & Czernicka, M. (2022). Reaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on the multi-component foliar fertilization. *Chem. Proc.*, 10, 68. DOI: <https://doi.org/10.3390/IOACAG2022-12292>.
19. Ssemugenze, B., Ocwa, A., Kuunya, R., Gumisiriya, C., Bojtor, C., Nagy, J., Széles, A., & Illés, Á. (2025). Enhancing maize production through timely nutrient supply: the role of foliar fertiliser application. *Agronomy*, 15(1), 176. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15010176>.
20. Jalali, M., Ghanati, F., & Modarres-Sanavi, A. M. (2016). Effect of Fe₃O₄ nanoparticles and iron chelate on the antioxidant capacity and nutritional value of soil cultivated maize (*Zea mays*) plants. *Crop Pasture Sci.*, 67(6), 621–628. DOI: <https://doi.org/10.1071/CP15271>.
21. Brankov, M., Simic, M., Dolijanovic, Z., Rajkovic, M., Mandic, V., & Dragicevic, V. (2020). The response of maize lines to foliar fertilizing. *Agriculture*, 10(9), 365. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10090365>.
22. Полтава, О. П., & Дем'янюк, О. С. (2025). Ефективність позакореневого підживлення кукурудзи (*Zea mays* L.) у Лівобережному Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*, 2, 148–155. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2025.333840>.
23. Liu, Y., Zhu, Q., Li, R., Wei, R., Geng, X., Zhang, X., ... Chen, Y. (2025). Foliar magnesium enhances rice salt tolerance by improving photosynthesis and regulating ion homeostasis. *Front. Plant Sci.*, 16, 1578023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1578023>.
24. El-Okkiah, S. A. F., El-Afry, M. M., Shehab Eldeen, S. A., El-Tahan, A. M., Ibrahim, O. M., Negm, M. M., ... Selim, D. A. (2022). Foliar spray of silica improved water stress tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Frontiers in plant science*, 13, 935090. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.935090>.
25. Mahmoodi, B., Moballeghi, M., Eftekhari, A., & Neshai-Mogadam, M. (2020). Effects of foliar application of liquid fertilizer on agronomical and physiological traits of rice (*Oryza sativa* L.). *Acta Agrobotanica*, 73(3), 7332. DOI: <https://doi.org/10.5586/aa.7332>.
26. Amoah, A. A., Asante, M., Boadu, A. D., Akowuah, J., Blavo, P. L., & Danso, Q. A. (2023). Response of rice (*Oryza sativa* L.) to foliar fertilizer. *African Journal of Agricultural Research*, 19(7), 698–704. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2023.16341>.
27. Senthilkumar, K., Sillo, F. S., Rodenburg, J., Dimkpa, C., Saito, K., Dieng, I., & Bindraban, P. S. (2021). Rice yield and economic response to micronutrient application in Tanzania. *Field Crops Research*, 270, 108201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108201>.
28. Soeparjono, S. S., Harsanti, R. S., & Saputra, M. W. (2025). The effect of foliar application of Nano-Sulfur-Silica fertilizer on growth, yield, and biochemical characteristics of two rice varieties in suboptimal soils. *J. Crop Sci. Biotechnol.*, 28, 463–474. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12892-025-00292-5>.
29. Грищенко, Р., & Гордієнко, М. (2025). Ефективність удобрення у формуванні врожаю проса в Правобережному Лісостепу. *Землеробство та рослинництво: теорія та практика*, 2, 82–90. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2025.02.09>.
30. Kolenčik, M., Ernst, D., Komár, M., Urík, M., Šebesta, M., Dobročka, E., ... Kratošová, G. (2019). Effect of foliar spray application of zinc oxide nanoparticles on quantitative, nutritional, and physiological parameters of foxtail millet (*Setaria italica* L.) under Field Conditions. *Nanomaterials*, 9(11), 1559. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano9111559>.
31. Мусіч, В. В., & Присяжнюк, О. І. (2022). Особливості формування продуктивності та якості біомаси проса прутіподібного на кислих ґрунтах. *Новітні аеротехнології*, 10(1). DOI: <https://doi.org/10.47414/na.10.1.2022.265661>.
32. Присяжнюк, О. І., Мусіч, В. В., Костина, Т. П., Кононюк, Н. О., Черняк, М. О., Гончарук, О. М., & Качура, Є. В. (2023). Формування врожайності та якості проса прутіподібного за багаторічного його вирощування на малопродуктивних ґрунтах Правобережного Лісостепу України. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*, 31, 110–125. DOI: <https://doi.org/10.47414/np.31.2023.292403>.
33. Drăghici, R., Drăghici, I., Croitoru, M., Diaconu, A., Dima, M., & Badi, O. C. (2022). Improving the productivity and quality of rye production, by applying foliar fertilizers with a high content of microelements, in sandy soil conditions. *Sci. Pap. Ser. Agron.*, LXV(1), 304–311.
34. Stepień, A., Wojtkowiak, K., Pietrusiewicz, M., Skłodowski, M., & Pietrzak-Fiečko, R. (2016). The yield and grain quality of winter rye (*Secale cereale* L.) under the conditions of foliar fertilization with micronutrients (Cu, Zn and Mn). *Pol. J. Nat. Sci.*, 31, 33–46.
35. Khaskheli, S. A., Ahmed, M., Shah, S. M. A., Khan, B., Mengal, A. A., & Ziad, T. (2018). Impact of foliar applied nitrogen on the growth and yield of barley (*Hordeum vulgare* L.) at local climate condition at Sindh. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 13(1), 136–143.
36. Stadnik, B., Tobiasz-Salach, R., & Migut, D. (2024). Influence of foliar application of microelements on yield and yield components of spring malting barley.

- Agriculture*, 14(3), 505. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture14030505>.
37. Henrichsen, L., Basso, N. C. F., Gonzalez da Silva, J. A., ... Steidl, M. E. (2023). The efficiency of liquid source nitrogen for foliar absorption in oat. *Australian Journal of Crop Science*, 17(5), 453–462. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.23.17.05.p3843>.
38. Панчишин, В. З., & Кашпур, С. Р. (2019). Формування урожайності зерна вівса посівного в умовах Полісся. *Наукові горизонти*, 1(74), 46–51. DOI: <https://doi.org/10.332491/2663-2144-2019-74-1-46-51>.
39. Kutasy, E., Buday-Bódi, E., Virág, I. C., Forgács, F., Melash, A. A., Zsombik, L., ... Csajbók, J. (2022). Mitigating the negative effect of drought stress in oat (*Avena sativa* L.) with silicon and sulphur foliar fertilization. *Plants*, 11(1), 30. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11010030>.
40. Stadnik, B., & Tobiasz-Salach, R. (2022). Physiological response of oat (*Avena sativa* L.) to the foliar application of silicon in conditions of increased soil salinity. *Chemistry Proceedings*, 10(1), 21. DOI: <https://doi.org/10.3390/IOCAG2022-12332>.

Стаття надійшла до редакції журналу 10.10.2025
