

ПОЗАКОРЕНЕВЕ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН: АКТУАЛЬНІСТЬ, ПОТРЕБИ, ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ

О.Г. Мусич¹, О.В. Зубко¹, П.М. Душко²

¹ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» (м. Київ, Україна)

e-mail: nad79eva@ukr.net; ORCID: 0000-0003-3874-741X

e-mail: zubko2019alex@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2521-8087

²Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: pdushko@hotmail.com; ORCID: 0000-0002-1408-0342

У статті теоретично проаналізовано потреби рослин у поживних речовинах та збалансованість надходження макро- і мікроелементів для правильного їх росту і розвитку. В основу методології досліджень покладено системний підхід оцінки періодичності позакореневого підживлення рослин комплексними препаратами різного складу. Встановлено, що за позакореневого підживлення існує частина поживних речовин після того, як вони потрапляють у листок рослини. Молекули меншого розміру або молекули з меншим позитивним зарядом легше переносяться в судинній системі, звідки вони переміщуються в інші частини рослини, включаючи амоній (NH_4^+), калій (K^+) і сечовину (NH_2CONH_2). Із іншого боку, більші молекули, а також іони з великим позитивним зарядом мають тенденцію залишатися доволі близько до своєї точки входу, оскільки прилипають до негативно заряджених клітинних стінок. Вони досить щільно утримують нерухомі поживні речовини, зокрема кальцій (Ca^{2+}), залізо (Fe^{2+}), марганець (Mn^{2+}), цинк (Zn^{2+}) і мідь (Cu^{2+}). Зазначено важливість поєднання біотехнологічного та екологічного аспекту в розробці і застосуванні комплексних сполук для позакореневого підживлення. Використання сполук на основі ЕДТА є потенційно небезпечним для сільськогосподарської продукції та навколишнього середовища. У довгостроковій перспективі це зумовлює збільшення забруднення сільськогосподарських земель, деградації ґрунтів, зменшення врожайності та погіршення якості продукції. Під час внесення комплексних листових добрив елементи з сильним позитивним зарядом, такі як кальцій, не дуже активно переміщуються в рослині. Відповідно, негативно заряджені елементи, як-от фосфор, повільно потрапляють у листки рослин. Обидва елементи відносно нерухомі після входу. Додаткові дослідження засвідчили, що різноманітні види рослин істотно різняться за здатністю поглинати поживні речовини через листки. Відмінності в товщині кутикули, кількості пор і стійкості, а також генетичні чинники й фактори навколишнього середовища — все це впливає на здатність виду засвоювати поживні речовини, що вносяться на листки.

Ключові слова: поживні речовини, макро- і мікроелементи, фітостимулятори, рідкі комплексні добрива, технології вирощування.

ВСТУП

За останні роки аграрні товаровиробники значну увагу приділяють вирощуванню високорентабельних технічних культур, порушуючи науково обґрунтовану структуру сівозмін. Це зумовило негативні соціально-екологічні наслідки, а також проблеми дефіциту продукції нішевого асортименту як комерційного, так і соціального значення. Як відомо, у більшості вітчизняних сільськогосподарських підприємств (наприкладі Волинської обл.) відсутні науково обґрунтовані сівозміни, розораність сіль-

госпугідь сягає 65,3% (по Україні — 77,8%), для вирощування сільськогосподарських культур не достатня кількість добрив, що посилює виснаження землі, зниження родючості ґрунтів, їх деградації [1].

Забезпечення оптимального режиму живлення сільськогосподарських культур — одне із найважливіших завдань технологій їх вирощування, від виконання якого залежить формування найкращих умов росту і розвитку рослин та функціонування агроєкосистем посіву культури загалом. Однак слід констатувати, що сучасний стан розвитку землеробства України

характеризується значним дефіцитом основних елементів живлення рослин, який у середньому на 1 га сільськогосподарських угідь становить 50,2 кг за діючою речовиною [2; 3]. Крім того, за умов гострого дефіциту органічних добрив використання на добриво побічної продукції є ефективним агрохімічним заходом, здатним забезпечити високу врожайність сільськогосподарських культур. Ефективність альтернативних органо-мінеральних систем удобрення залежить від інтенсивності процесів мінералізації органічної речовини в ґрунті, збалансованості поживного середовища за макро- і мікроелементами, їх спроможності забезпечити рослини елементами живлення в найкритичніші фази росту і розвитку.

Відомо, що вирощування і постійне оновлення нових більш продуктивних сортів і гібридів сільськогосподарських культур вимагає врахування кількісного впливу на їх урожайність норм добрив, оскільки культури істотно відрізняються від вивчених раніше сортів і гібридів як значенням окупності добрив, так і коефіцієнтом використання основних елементів. Така постановка питання потребує кількісної оцінки їх інтенсивності з точки зору використання основних ресурсів і передусім мінерального живлення [4; 5].

Тому визначення джерел і способів досягнення бездефіцитного балансу поживних речовин у землеробстві країни є основою досягнення лідируючих позицій у світі за продуктивністю сільськогосподарських культур.

Мета дослідження — аналіз науково обґрунтованої стратегії і перспектив позакореневого живлення під час застосування нових комплексних сполук у період вегетації рослин.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Сучасні уявлення про мінеральне живлення рослин виходить своїми коренями з аристотелівського вчення про живлення рослин соками землі (Арістотель, 384 р. до н. е.), водної теорії живлення Я.Б. Ван

Гельмонта (1629) та гумусової теорії живлення рослин, яку запропонував А. Теер наприкінці XVIII — на початку XIX ст. Незважаючи на те, що точними експериментами швейцарця Н.Т. Соссюр (1804) доведено, що ґрунт є джерелом мінерального живлення рослин, гумусова теорія панувала до 40-х років XX ст. [6; 7].

До того ж ще в 1770 р. А. Болотов виклав теорію мінерального живлення рослин, а пізніше Ю. Лібіх довів, що це живлення відбувається переважно добривами з ґрунту [8].

На сьогодні, як зарубіжні, так і вітчизняні дослідження спрямовані на вивчення систем удобрення та позакореневого внесення рідких органо-мінеральних добрив, які позитивно впливають на ріст й розвиток рослин. Низка науковців Дегодюк Е.Г., Поліщук В.О. [9; 10] вважають, що запорукою одержання урожаїв із високою якістю є не відмова від застосування мінеральних добрив, а оптимальне мінеральне живлення рослин. Також Паламарчук В.Д., Гудзь В.П. та ін. [11] відмічають, що поєднання органічних та помірних норм мінеральних добрив сприяє позитивному впливу на ріст й розвиток рослин. Як наголошує Матковська М.В. [12], мінеральні добрива в різних дозах та співвідношеннях позитивно впливають на зимостійкість рослин, особливо — підвищення норм фосфорно-калійних добрив. Позитивна дія на зимостійкість відбувається через вплив на інтенсивне накопичення пластичних речовин, зменшення кількості вільної води в клітинах рослин.

Також мінеральне живлення досить істотно діє на формування вторинної кореневої системи, що забезпечує основне засвоєння поживних елементів та води з ґрунту. За даними А.Д. Гирка [13], під час застосування $N_{30}P_{30}K_{30}$ кількість вторинних коренів збільшувалася на 14,3–33,3%, а за $N_{60}P_{60}K_{60}$ — на 16,6–42,8% проти контролю.

До того ж варто відмітити, що незбалансовані норми мінеральних добрив негативно впливають на показники кислотності ґрунтового розчину та неодмінно

закріплюють елементи живлення, що погано діє на засвоєння елементів живлення кореневою системою рослин. Наразі це є актуальною проблемою, яка зустрічається в багатьох країнах Європи, не обминула вона і Україну.

Ще в середині ХХ ст. було встановлено, що більш засухоустійкі сорти культур ефективніше використовують підвищені норми елементів живлення за зниженої вологості ґрунту, ніж нестійкі форми, це було підтверджено дослідниками в Україні [14–16] та інших країнах. Доведено, що ефективність споживання води та поживних речовин тісно пов'язані між собою, хоча й не лінійно для окремих елементів [17].

Різниця акумуляції мінеральних елементів у рослинах може бути зумовлена відмінностями адаптаційної здатності генотипів та їхньої реакції на різні ґрунтово-кліматичні умови [18; 19].

Загалом, визначення необхідності застосування мінеральних добрив наразі головна проблема у технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Незважаючи на численні дослідження, чимало питань мінерального живлення ще не розв'язано, що спричинено еколого-біологічними особливостями рослин, різними вимогами до елементів живлення у період онтогенезу, однак базові потреби рослин

у поживних речовинах не часто змінюються.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В основу методології досліджень покладено системний підхід — метод логічного аналізу на основі узагальнення проаналізованих та систематизованих наукових джерел вітчизняних і зарубіжних авторів у галузі агроєкології, агрохімії, біохімії та фізіології рослин.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Система удобрення, як важлива складова технології вирощування сільськогосподарських культур, забезпечує одержання стабільно високих урожаїв продукції рослинництва та збереження родючості ґрунту. За тривалого застосування органічних та мінеральних добрив у сівозміні у біологічний кругообіг залучається значна кількість макро- і мікроелементів. Так, для правильного росту рослин і їх розвитку від насіння і до зрілості необхідні шістнадцять різних елементів, три з яких — вуглекислий газ, кисень і водень — рослина отримує безпосередньо із зовнішнього середовища, а решта тринадцять забезпечуються ґрунтом (рис. 1).



Рис. 1. Необхідні елементи для росту та розвитку рослин

Примітка: створений авторами з використанням програми «Corel Draw».

Без вивчення особливостей надходження та витрат елементів живлення у землеробстві неможливо контролювати і свідомо впливати на обмін поживних речовин у системі «добриво – ґрунт – рослина» [20].

Наявність у ґрунті всіх речовин дає можливість підвищити ефективність фотосинтезу і внутрішньоклітинних процесів, а в результаті – одержати значні врожаї, запобігати захворюванням, мати підвищену стійкість до стресів. Окрім того, мікроелементи прискорюють і покращують перебіг біохімічних реакцій.

Для утворення нових пагонів, листків, квітконосів та коренів рослин необхідний певний набір речовин, а відсутні мікро- і макроелементи рослини поглинають через коріння або надземну (вегетативну) частину. Під дією сонячного світла в клітинах відбуваються обмінні процеси, в результаті мінеральні речовини перетворюються в органічні. За нестачі елементів культури зупиняються в рості, не настає цвітіння, може осипатися зав'язь і плоди частіше хворіють [8].

Доступність поживних речовин із ґрунту та інтенсивність засвоєння кореневою системою деяких елементів живлення значною мірою залежить від низки чинників:

- *фізико-хімічних* (тип ґрунту, рН та його соловий склад, вміст органічної речовини, мінеральні добрива);

- *біологічних* (мікробіологічна активність ґрунту, зараженість хворобами та шкідниками, культура та розвиток її кореневої системи);
- *екологічних* (вологість та температура ґрунту).

Насправді, теоретично, елемент присутній у ґрунті у необхідній концентрації, але рослиною не засвоюється через певні чинники, рослина відчуває дефіцит цього елементу. Наслідком цього є зниження врожаю та слабкий фізіологічний стан самої культури. При значеннях рН ґрунту вище 7,5 доступність поживних речовин, зокрема фосфору, бору, марганцю та цинку зменшується, хоча в ґрунті може бути присутня висока загальна кількість цих елементів. Низька температура ґрунту порушує засвоєваність азоту, фосфору, сірки, заліза, марганцю та цинку, а висока температура та посушливі умови спричиняють порушення поглинання калію, кальцію, міді й бору. Високий вміст кальцію та магнію заважають мобілізації кореневою системою калію, надлишок іонів заліза та марганцю блокують надходження фосфору, міді та молібдену. Високий вміст органічної речовини ускладнює поглинання заліза, марганцю, міді та молібдену (рис. 2) [21; 22].

Порівняно з традиційним методом внесення мінеральних добрив на поверхню ґрунту з наступним підживленням рослин

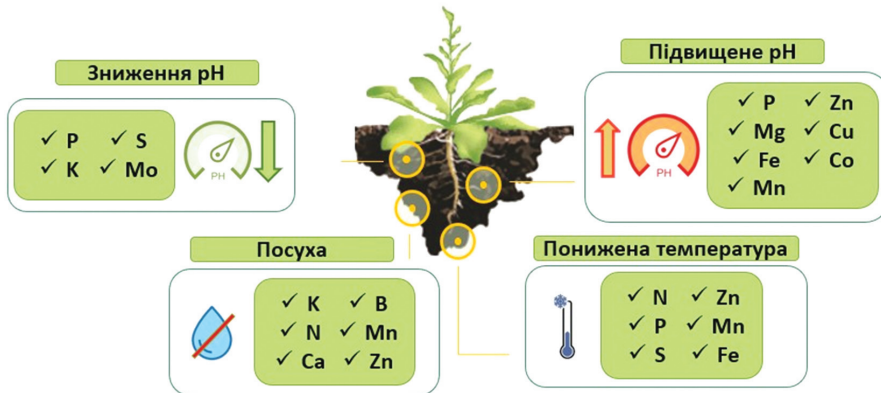


Рис. 2. Потреба рослини в елементах живлення за несприятливих умов довкілля

Примітка: створений авторами з використанням програми «Corel Draw».

рідкими добривами безпосередньо в зону кореня має низку переваг:

- потрібні елементи живлення, попадаючи в розчиненому вигляді, легко засвоюються. Рослинам не потрібно витратити енергію на звільнення елементів живлення, які знаходяться в адсорбованих ґрунтових колоїдах або у важкорозчинних сполуках;
- елементи живлення засвоюються в тій кількості, яка потрібна рослині на певному етапі розвитку. Рослина впродовж вегетації не відчуває надлишок або дефіциту мінеральних елементів, поступово формується режим живлення з рівномірним забезпеченням всіх макро- і мікроелементів;
- під час застосування рідких добрив зменшується втрата елементів живлення та ймовірність одержання рослиною різних стресів, прискорюється процес метаболізму, підвищується якість та кількість продукції, що вирощується.

Деякі добрива під час розчинення залишають осад, який заважає якісній роботі систем внесення поживних речовин у зону кореня. Проблема щодо знищення осаду можна виконати завдяки позакореному живленню рослин (по листках). Засвоєння елементів живлення не обмежується коре-

невою системою. В багатьох випадках для поліпшення стану рослини, її стійкості чи толерантності до того чи іншого чинника, а також за погіршення погодно-кліматичних умов, а також зростання вартості основних добрив дало поштовх до появи нових агротехнічних прийомів для підвищення врожайності та якості продукції [23].

Позакоренеve живлення – це точний ефективний засіб ліквідації дефіциту елемента живлення порівняно з внесенням добрива в ґрунт, оскільки поживні речовини надходять безпосередньо до тканини рослини в критичні стадії її розвитку при переході від вегетативного до репродуктивного періоду та у випадках підвищення стресостійкості або ліквідації дії несприятливих чинників середовища (приморозків, граду та ін.) з урахуванням всіх екологічних умов (ґрунт, його фізико-біологічна активність, ураження хворобами, шкідниками, тощо) [24].

Ріст рослини, її розвиток, підтримка в доброму стані – складний процес, який базується на забезпеченні всіма необхідними поживними елементами, в певну фазу росту за весь період вегетації (рис. 3).

На початку вегетації, під час росту у складі поживних речовин переважає азот, як основа для повноцінного нарощуван-

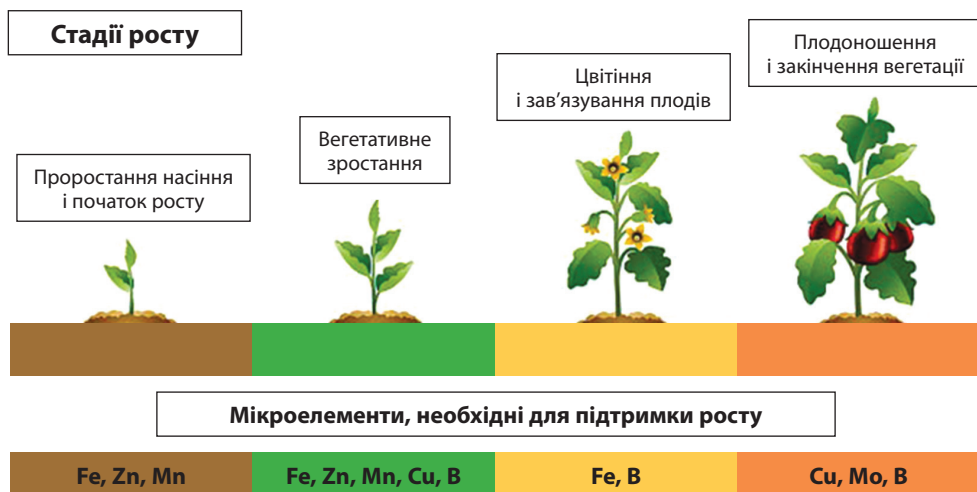


Рис. 3. Потреба рослини в елементах на всіх фазах росту

Примітка: створений авторами з використанням програми «Corel Draw».

ня зеленої маси. У період бутонізації та цвітіння — рослини потребують наявності калію і фосфору. В процесі плодоношення — рослинам необхідні сполуки калію, азоту та фосфору.

Наприкінці вегетації — калій і фосфор підготують рослини до зимівлі, підвищують стійкість до умов низьких температур. Необхідні сполуки з мінімальним вмістом азоту. Крім того, необхідно вносити в ґрунт комплексні сполуки з мікроелементами [1]:

- за проростання насіння або набухання бруньок — цинку, заліза, магнію;
- у період активної вегетації — додається бор і мідь;
- цвітіння і утворення зав'язей неможливі без заліза й бору;
- плодоношення і закінчення вегетації — міді, молібдену, бору.

Зважаючи на це, позакореневе живлення є важливим додатковим інструментом для ефективного управління продуктивністю рослин, потребує застосування невеликих кількостей діючих речовин порівняно з великою кількістю дорогих добрив для внесення в ґрунт. Низькі концентрації та норми використання зменшують екологічне навантаження на ґрунт та довкілля. Позакореневе підживлення широко використовують для забезпечення рослини елементами з низькою мобільністю. Обробка плодів фруктових дерев препаратами кальцію з метою підвищення лежкості та якості, а внесення розчинів бору у фазі бутонізації стимулюють цвітіння, проростання пилкових трубок та збільшує відсоток зав'язування плодів. Окрім того, обробка рослин через листову поверхню стимулює перебіг фізіологічних процесів, підвищується продуктивність фотосинтезу, прискорюється синтез вуглеводів, органічних кислот та інших біологічно активних речовин, надходження їх у кореневу зону. Виділення цих речовин кореневою системою посилює активність мікроорганізмів, стимулює розчинність та засвоєння важкодоступних поживних речовин [8].

Отже, для ефективного використання позакореневого живлення необхідні певні

умови, зокрема тестування ґрунту; географічне розташування культури; тканинна діагностика культури; урахування критичних фаз розвитку рослини, особливо в умовах стресу; вплив абіотичних чинників.

Щодо механізму дії позакореневого підживлення є предметом численних дискусій, хоча науковці констатують більш ефективне поглинання рослиною поживних речовин по листках, ніж корінням [24]. Дослідження радіоізотопним методом встановлено, що поживні речовини з більшою ймовірністю потрапляють через кутикулу листка. Остання містить надзвичайно дрібні пори з щільністю близько десяти мільярдів пор на cm^2 площі поверхні листка. Ці мікропори вистелені негативними зарядами, які мають тенденцію притягувати (в іонній формі) позитивно заряджені елементи, як-от кальцій (Ca^{2+}), магній (Mg^{2+}), калій (K^+), азот в амонійній формі (NH_4^+) тощо, через кутикулу залежно від низки чинників, включаючи концентрацію поживних речовин, розмір молекули, органічні або неорганічні речовини, а негативно заряджені важливі елементи в іонній формі, такі як фосфор (HPO_4^{2-}), сірка (SO_4^{2-}) і азот в нітратній формі (NO_3^-), ускладнюють проникнення листків через кутикулу. В той час як протилежні заряди притягуються, подібні заряди відштовхуються один від одного [24].

За позакореневого підживлення існує частина поживних речовин після того, як вони потрапляють у листок рослини. Молекули меншого розміру або молекули з меншим позитивним зарядом легко переносяться в судинній системі, звідки вони переміщуються в інші частини рослини, включаючи амоній (NH_4^+), калій (K^+) і сечовину (NH_2CONH_2). Із іншого боку, більші молекули й іони з великим позитивним зарядом мають тенденцію залишатися досить близько до своєї точки входу, оскільки прилипають до негативно заряджених клітинних стінок. Вони досить щільно утримують нерухомі поживні речовини, зокрема кальцій (Ca^{2+}), залізо (Fe^{2+}), марганець (Mn^{2+}), цинк (Zn^{2+}) і мідь (Cu^{2+}).

Отже, під час внесення листових добрив елементи з сильним позитивним зарядом, як-от кальцій, не дуже активно переміщуються в рослині. Відповідно, негативно заряджені елементи, такі як фосфор, повільно потрапляють у листок. Дослідження засвідчили [24], що різноманітні види рослин істотно різняться за здатністю поглинати поживні речовини через листки. Відмінності в товщині кутикули, кількості пор і стійкості, а також генетичні чинники й фактори навколишнього середовища — все це впливає на здатність виду засвоювати поживні речовини, що вносяться на листки.

Отже, за певних обставин позакореневе підживлення є корисним для підтримки поживного благополуччя сільськогосподарських культур, для корекції дефіциту поживних мікроелементів. Так, позакореневе підживлення азоту (N) може принести користь більшості овочів, якщо в рослині мало N. Форми азоту сечовини є найефективнішими. Також дієвими є метиленсечовина (формальдегід сечовини), триазоли ($C_2H_3N_3$) і сульфат амонію. Позакореневий калій (K^+) використовується для покращення плодоношення овочів, таких як помідори й дині. Кращі джерела для цього — сульфат калію або нітрат калію.

Позакореневий магній (Mg^{2+}), зазвичай, використовується для обробки помідорів, динь і бобів. Кращим джерелом є сульфат магнію.

Часто рекомендовано використання позакореневого кальцію, але, оскільки він дуже малорухомиий, його необхідно застосовувати на відповідних стадіях росту, щоб був ефективним. Наприклад, для зменшення гнилі плодів помідорів або перцю використовують кальцій по листках, коли плоди дуже маленькі. Кращими джерелами кальцію для листків є нітрат кальцію, хлорид кальцію і деякі хелатні сполуки з кальцієм.

Залізо (Fe^{2+}), марганець (Mn^{2+}) або цинк (Zn^{2+}) найкраще вносити як позакореневе підживлення — сульфати. Хоча ці металеві мікроелементи не є мобільними, позакореневе підживлення дуже ефектив-

не для усунення локальних пошкоджень у листках.

Не всі добрива придатні для позакореневого застосування, переважно це стосується рідких добрив із високою розчинністю, низьким сольовим індексом та головне, високою частотою сумісності компонентів. Також необхідно враховувати, що максимальне поглинання можливо при мінімально ушкодженому або непошкодженому листку.

Сучасні добрива для позакореневого живлення різні за складом, формою діючої речовини. Для їх виробництва застосовують чисту хімічну сировину з високим ступенем подрібнення, низькою вологістю, мікроелементами в хелатній формі, як найефективнішому, стабілізаторами, ад'ювантами (прилипачами).

Вимоги до розчинних комплексних добрив позакореневого підживлення можна звести до таких пунктів:

- активність та біозасвоюваність розчинних комплексів макро- і мікроелементів;
- відсутність великих малорухоливих макромолекул комплексотворювачів і стабілізаторів;
- стійкість багатоконпонентних розчинів до концентрування і зберігання.

Хелатні добрива — економічно виправданий спосіб забезпечення рослин необхідними елементами живлення. На українському ринку їх безліч. На жаль, серед них чимало таких, які можуть завдати серйозної шкоди, це добрива з ЕДТА [25]. Щоб рослина могла легко поглинути та засвоїти певний мікроелемент, останній вноситься в біологічно-активній формі, тобто потрібний своєрідний транспортний засіб. Таким засобом слугує ЕДТА — біологічно-активний ліганд.

ЕДТА — етилендіамінтетраоцтова кислота, органічна сполука яка щільно пов'язує іони деяких елементів (Ca^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+}); утворює стабільні комплекси хелати (від грецького слова *chele* — «крабова клешня»). Невисока вартість зумовила його широке використання, наслідком якого стало багато проблем, які виявляються поступово:

- доведено, що мікродобрива на основі ЕДТА непридатні для кореневих підживлень на карбонатних та лужних ґрунтах ($\text{pH} > 8$);
- ЕДТА віднімає Ca^{2+} з будь-яких структур, що його містять, порушує метаболізм рослинної клітини; зовні дефіцит Ca^{2+} супроводжується в'яненням рослини, нестача призводить до зниження врожайності, погіршення якості насіння та плодів, зменшення термінів їх зберігання;
- ЕДТА не засвоюється рослиною. Віддавши рослині мікроелемент, хелатант потрапляє у ґрунт, концентруючись переважно у верхньому 10 см шарі, оскільки сполука стійка, не руйнується, а пов'язує важкі метали (ртуть, миш'як, кадмій, свинець та ін.), а останні як солі погано засвоюються рослиною. Комплекси ЕДТА з важкими металами призводять до більш інтенсивного і неконтрольованого їх поглинання кореневою системою. Дослідження показують, що ЕДТА впливає на накопичення важких металів рослиною, навіть на третій рік після її одноразового внесення. Концентрація важких металів у рослинах підвищується до токсичного рівня, що призводить до пригнічення, зменшення врожайності та зниження якості продукції [25; 26].

Тому, використання сполук на основі ЕДТА є потенційно небезпечним для сільськогосподарської продукції та навколишнього середовища. У довгостроковій перспективі це призводить до збільшення забруднення сільськогосподарських земель, деградації ґрунтів, зменшення врожайності та погіршення якості продукції.

До мікродобрив з визначеними мікроелементами (Mg^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , B^{3+}) додають ультрамікроелементи цитокинінів, як додаткових стимуляторів. Ще в 1955 р. в рослинах знайдені хімічні сполуки — фактори росту, що регулюють процес поділу клітин. Це так звані цитокиніни, похідні пуринових азотистих основ, точніше аденіну. Саме вони визначають фізіологічний вплив кореневої системи на обмін речовин надземних органів. Багаті на них

клітини апікальних пагонів і меристем кореня. В 2001 р. завдяки генній інженерії з *Arabidopsis thaliana* (Гусимка звичайна) виділено ген, який кодує ключовий фермент синтезу цитокинінів. Припускають, що маркер-тДНК-плазмід допомагає рослині утворювати цитокиніни за хімічного перетворення тРНК. Донині в літературі маловідомо про метаболізм цитокинінів, але є підтвердження, що підживлення рослин азотом стимулює утворення останніх. Цитокиніни як багатофункціональні фітогормони, прискорюють поділ клітин і тканин, беруть участь в орґаноутворенні, затримують старіння листків (омолоджувальний ефект), підвищують стресостійкість рослин, регулюють азотний обмін [27].

Отже, важливе поєднання біотехнологічного та екологічного аспектів у розробці і застосуванні комплексних сполук для позакореневого підживлення.

ВИСНОВКИ

Сучасний розвиток енергоощадних технологій сприяє запровадженню нових технологій; збалансованому застосуванню добрив — крапельному в зоні кореня та позакореневого — в зоні листків.

Без мікроелементів принципово неможливе повноцінне засвоєння основних добрив (азоту, фосфору, калію). Тільки мікроелементи забезпечують нормальний перебіг фізіологічних процесів у рослині, підвищують її метаболізм, стресостійкість та дають змогу отримати врожай належної якості.

Позакореневе підживлення — рентабельний метод забезпечення рослин поживними речовинами, ефективний метод лікування дефіциту певних поживних речовин і прискорювач росту рослин під час стресу.

Листкове підживлення найбільш ефективне за інтенсивної технології вирощування рослин, коли лімітувальним чинником зростання врожайності є нестача макро- та мікроелементів.

Позакореневе живлення є єдиним шляхом збереження динаміки ростових проце-

сів і роботи фітогормональних систем під час нестачі елементів живлення з ґрунту.

Мікродобрива з мікроелементами у хелатній формі – водорозчинні, без осаду, збільшують ступінь засвоєння азоту, фосфору й калію з ґрунту, позитивно впливають на стан рослини, повністю виключають фізіологічну депресію останніх, що пози-

тивно позначається на класності та якості врожаю.

Встановлено, що мікродобрива на основі ЕДТА непридатні для кореневих підживлень на карбонатних та лужних ґрунтах. Також висока стійкість комплексів ЕДТА з біометалами робить його неефективним стабілізатором за позакореневого внесення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Переверзева А.В., Волков В.П., Лях В.О. Вплив деградації ґрунтів на продовольчу безпеку. *Агро-світ*. 2020. № 19–20. С. 10–15. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2020.19-20.10>.
2. Писаренко В.М. Органічні добрива: моногр. Полтава: ГС «Полтавське товариство сільського господарства», 2022. 156 с.
3. Milenko O. et al. Influence of foliar top-dressing on the yield of soybean varieties. *Scientific Horizons*. 2022. Vol. 25 (4). P. 61–66. DOI: [https://doi.org/10.48077/sciHor.25\(4\).2022.61-66](https://doi.org/10.48077/sciHor.25(4).2022.61-66).
4. Дегодюк Е.Г., Проненко М.М., Ігнатенко Ю.О. та ін. Сучасні системи удобрення в землеробстві України: наук.-метод. та наук.-практ. реком. / за ред. Е.Г. Дегодюка. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 84 с.
5. Gavryliuk A. Plowing straw requires additional nitrogen application. *AgroTimes*. 2020. URL: <https://agrotimes.ua/agronomiya/zaoryuvannya-solomy-potrebuye-dodatkovogo-vnesennya-azotu>.
6. Thomas C.L., Acquah G.E., Whitmore A.P. et al. The effect of different organic fertilizers on yield and soil and crop nutrient concentrations. *Agronomy*. 2019. Vol. 9(12). P. 776. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9120776>.
7. Гавій В.М., Приплавко С.О., Коваленко С.О. та ін. Ґрунт як джерело живлення рослин: навч. посіб. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2017. 190 с.
8. Циліорик О.І. Система мучлявального обробітку ґрунту в Північному Степу: моногр. Дніпро: Новий Світ — 2000, 2019. 298 с.
9. Дегодюк С.Е., Дегодюк Е.Г., Проненко М.М. та ін. Ефективність застосування відновлюваних місцевих ресурсів за органічного землеробства: науково-методичні рекомендації. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 48 с.
10. Поліщук В.О., Журавель С.В. Вплив систем удобрення і позакореневого підживлення в міжфазні періоди на ріст і розвиток рослин картоплі. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 133. С. 92–97. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.13>.
11. Гудзь В.П., Шувар І.А., Юник А.В. та ін. Адаптивні системи землеробства: підруч. Київ: Центр учбової літератури, 2017. 336 с.
12. Матковська М.В. Вплив мінерального живлення та фунгіцидного захисту на підвищення урожайності ячменю озимого. *Агробіологія*. 2020. № 1. С. 104–109. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-157-1-104-110>.
13. Гирка А.Д. Агробіологічні основи формування продуктивності озимих та ярих зернових культур у Північному Степу: дис. ... д-ра с.-г. наук: 06.01.09. Дніпропетровськ, 2015. 352 с.
14. Білера Н. Вплив умов навколишнього середовища на поглинання елементів живлення рослинами. 2022. URL: <https://www.agronom.com.ua/vplyv-umov-navkolyshnogo-seredovyssha-napoglynannya-elementiv-zhyvlennya-roslynamy>.
15. Мірошніченко М.М., Звонар А.М., Панасенко Є.В., Леонов О.Ю. Находження елементів живлення до рослин пшениці озимої різних сортів у контрастні за погодніми умовами роки. *Аерохімія і ґрунтознавство*. 2020. Вип. 89. С. 51–62. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-06>.
16. Рубан С. Азотні добрива за дефіциту вологи: як оптимізувати. 2021. URL: <https://supragronom.com/blog/856-azotni-dobryva-za-defitsitu-vologiyak-optimizuvati-vnesennya>.
17. Писаренко В.М., Писаренко В.В., Писаренко П.В. Управління агротехнологіями за умов посух: моногр. Полтава: Громадська спілка «Полтавське товариство сільського господарства», 2020. 161 с.
18. Sancar B. Mineral content of some bread wheat cultivars. *Cereal Research Communications*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42976-021-00235-0>.
19. Слюсар І.Т., Камінський В.Ф., Соляник О.П. Продуктивність сільськогосподарських культур залежно від рівня удобрення на дренажних органічних ґрунтах. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 11 (812). С. 5–15. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202011-01>.
20. Муха Р.А. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарської галузі України. *Ефективна економіка*. 2019. № 8. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.8.32>. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua>.
21. Ладичук Д.О., Шапоринська Н.М. Шляхи вирішення проблеми втрат водних та земельних ресурсів Херсонської області. *Досягнення України та ЄС в екології, біології, хімії, географії та аграрних науках: моногр.* Рига, Латвія: «Baltija Publishing», 2021. С. 264–281.
22. Чуйко Д.В., Криворученко Р.В. Екологічна пластичність та стабільність сортів кондитерського соняшнику в умовах Східного Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. Vol. 26 (3). DOI: <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.05>.

23. Вторичные метаболиты: определение, классы и функции. URL: https://www.plantcelltechnology.com/blog/secondary-metabolites-definition-classes-and-functions-part1/Anjali_Singh_Feb_09_2022.
24. Fageria N.K., Barbosa Filho M.P., Moreira A. and Guimarães C.M. Foliar Fertilization of Crop Plants. *Journal of Plant Nutrition*. 2009. Vol. 32 (6). P. 1044–1064.
25. Козельська Г. ЕДТА в складі мікродобрив — нова загроза для врожайності і родючості ґрунтів. URL: [https://www.unian.ua/ecology/edta-v-skladi-](https://www.unian.ua/ecology/edta-v-skladi-mikrodobriv-nova-zagroza-dlya-vrozhaynosti-i-rodyuchosti-gruntiv-11013242.html)
- mikrodobriv-nova-zagroza-dlya-vrozhaynosti-i-rodyuchosti-gruntiv-11013242.html.
26. Javier Hernandez-Allica, Carlos Garbisu, Oihana Barrutia and Jose Maria. Becerril EDTA-induced heavy metal accumulation and phytotoxicity in cardoon plants. *Environmental and Experimental Botany*. 2007. Vol. 60. P. 26–32.
27. Веденичова Н.П., Косаківська І.В. Цитокініни як регулятори онтогенезу рослин за різних умов зростання. Київ: Наш формат, 2017. 200 с.

REFERENCES

1. Pereverzeva, A.V., Volkov, V.P. & Lyakh, V.O. (2020). Vplyv dehradatsiyi ґрунтів na prodovol'chu bezpeku [Impact of soil degradation on food security]. *Ahrosvit — Agroworld*, 19–20, 10–15. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2020.19-20.10> [in Ukrainian].
2. Pisarenko, V.M. (2022). *Orhanichni dobryva [Organic fertilizers]*. Poltava: GS «Poltava Society of Agriculture» [in Ukrainian].
3. Milenko, O. et al. (2022). Influence of foliar top-dressing on the yield of soybean varieties. *Scientific horizons*, 25 (4), 61–66 [in English].
4. Dehodyuk, E.G. (Ed.), Pronenko, M.M., Ignatenko, Yu.O. et al. (2020). *Suchasni systemy udobrennyia v zemlerobstvi Ukrainy [Modern systems of fertilization in agriculture of Ukraine]*. Vinnitsa: Vyd-vo «Tvory» [in Ukrainian].
5. Gavryliuk, A. (2020). Plowing straw requires additional nitrogen application. *Agrotimes*. URL: <https://agrotimes.ua/agronomiya/zaoryuvannya-solomy-potrebuye-dodatkovogo-vnesennya-azotu> [in English].
6. Thomas, C.L., Acquah, G.E., Whitmore, A.P. et al. (2019). The effect of different organic fertilizers on yield and soil and crop nutrient concentrations. *Agronomy*, 9 (12), 776. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9120776> [in English].
7. Gaviy, V.M., Pryplavko, S.O., Kovalenko, S.O. et al. (2017). *Grunt yak dzherelo zhyvlennya roslin [Soil as a source of nutrition for plants]*. Nizhyn [in Ukrainian].
8. Tsilyurik, O.I. (2019). *Systema mul'chuval'noho obrobittu ґрунту v Pivnichnomu Stepu [Mulching soil cultivation system in the Northern Steppe]*. Dnipro: Novyy Svit — 2000 [in Ukrainian].
9. Degodyuk, S.E., Degodyuk, E.G., Pronenko, M.M. et al. (2020). *Efektivnist' zastosuvannya vidnovlyuvanykh mistsevnykh resursiv za orhanichnoho zemlerobstva [Effectiveness of using renewable local resources in organic farming]*. Vinnitsa: Vyd-vo «Tvory» [in Ukrainian].
10. Polishchuk, V.O. & Zhuravel, S.V. (2023). Vplyv system udobrennyia i pozakorenevoho pidzhyvlennya v mizhfazni periody na rist i rozvytok roslin kartopli [The influence of fertilization systems and foliar fertilization in interphase periods on the growth and development of potato plants]. *Tavriys'kyi naukovyy visnyk — Taurian Scientific Herald*, 133, 92–97. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.13> [in Ukrainian].
11. Hudz, V.P., Shuvar, I.A., Yunyk, A.V. et al. (2017). *Adaptivni systemy zemlerobstva [Adaptive farming systems]*. Kyiv: Tsentr uchbovoyi literatury [in Ukrainian].
12. Matkovska, M.V. (2020). Vplyv mineral'noho zhyvlennya ta funhitsydnogo zakhystu na pidvyshchennya urozhaynosti yachmenyu ozymoho [The effect of mineral nutrition and fungicidal protection on increasing the yield of winter barley]. *Ahrobiolohiya — Agrobiology*, 1, 104–109. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-157-1-104-110> [in Ukrainian].
13. Girka, A.D. (2015). *Ahrobiolohichni osnovy formuvannya produktyvnosti ozymykh ta yarykh zernovykh kul'tur u Pivnichnomu stepu [Agrobiological bases of formation of productivity of winter and spring grain crops in the Northern steppe]*. Doctor's thesis. Dnipropetrovsk [in Ukrainian].
14. Bilera, N. (2022). *Vplyv umov navkolyshn'oho sere-dovyshcha na pohlynannya elementiv zhyvlennya roslinamy [The influence of environmental conditions on the absorption of nutrients by plants]*. URL: <https://www.agronom.com.ua/vplyv-umov-navkolyshnogoseredovyshcha-na-poglynannya-elementiv-zhyvlennya-roslinamy> [in Ukrainian].
15. Mirosnychenko, M.M., Zvonar, A.M., Panasenko, E.V. & Leonov, O.Yu. (2020). Nadkhodzhennya elementiv zhyvlennya do roslin pshenytsi ozymoyi ryznykh sortiv u kontrastni za pohodnyumy umovamy roky [Supply of nutrients to winter wheat plants of different varieties in years with contrasting weather conditions]. *Ahrokhimiya i ґruntoznavstvo — Agrochemistry and soil science*, 89, 51–62. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-06> [in Ukrainian].
16. Ruban, S. (2021). *Azotni dobryva za defitsytu volohy: yak optymizuvaty [Nitrogen fertilizers with a moisture deficit: how to optimize]*. URL: <https://superagronom.com/blog/856-azotni-dobryva-za-defitsitu-vologiyak-optimizuvati-vnesennya> [in Ukrainian].
17. Pisarenko, V.M., Pisarenko, V.V. & Pisarenko, P.V. (2020). *Upravlinnyia ahrotekhnolohiyamy za umov posukh [Management of agricultural technologies under drought conditions]*. Poltava: GS «Poltava Society of Agriculture» [in Ukrainian].
18. Sancar, B. (2022). Mineral content of some bread wheat cultivars. *Cereal Research Communications* [in English].
19. Slyusar, I.T., Kamynskyi, V.F. & Solyanyk, O.P. (2020). Produktyvni silskohospodarskykh kultur zalezho vid rivnyia udobrennyia na drevovanykh

- orhanohennykh gruntakh [Productivity of agricultural crops depending on the level of fertilization on drained organic soils]. *Visnyk ahrarnoyi nauky — Herald of Agrarian Science*, 11 (812), 5–15. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202011-01> [in Ukrainian].
20. Mucha, R.A. (2019). Suchasnyy stan, problemy ta perspektyvy rozvytku sil's'kohospodars'koyi haluzi Ukrainy [The current state, problems and prospects of the development of the agricultural sector of Ukraine]. *Efektivna ekonomika — Efficient economy*, 8. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.8.32>. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua> [in Ukrainian].
21. Ladychuk, D.O. & Shaporynska, N.M. (2021). Shlyakhy vyryshennya problem y vtrat vodnykh ta zemel'nykh resursiv Khersons'koyi oblasti [Ways to solve the problem of loss of water and land resources of the Kherson region]. *Dosyahnennya Ukrainy ta YeS v ekolohiyi, biolohiyi, khimiyi, heohrafiyi ta ahrarnykh naukakh [Achievements of Ukraine and the EU in ecology, biology, chemistry, geography and agricultural sciences]*. (pp. 264–281). Riga: «Baltija Publishing» [in Ukrainian].
22. Chuyko, D.V. & Krivoruchenko, R.V. (2023). Ekolohichna plastychnist ta stabilnist sortiv kondyterskoho sonyashnyku v umovakh Skhidnoho Lisostepu Ukrainy [Ecological plasticity and stability of confectionary sunflower varieties in the conditions of the Eastern Forest Steppe of Ukraine]. *Scientific Progress & Innovations*, 26 (3). DOI: <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.05> [in Ukrainian].
24. Fageria, N.K., Barbosa Filho, M.P., Moreira, A. & Guimarães, C.M. (2009). Foliar Fertilization of Crop Plants. *Journal of Plant Nutrition*, 32, 6, 1044–1064 [in English].
25. Kozelska, G. (2020). EDTA v skladi mikrodbryv — nova zahroza dlya vrozhaynosti i rodyuchosti gruntiv [EDTA as part of microfertilizers is a new threat to soil productivity and fertility]. URL: <https://www.unian.ua/ecology/edta-v-skladi-mikrodbryv-nova-zagroza-dlya-vrozhaynosti-i-rodyuchosti-gruntiv-11013242.html> [in Ukrainian].
26. Hernandez-Allica, Javier, Garbisu, Carlos, Barrutia, Oihana & Becerril, Jose Maria (2007). EDTA-induced heavy metal accumulation and phytotoxicity in cardoon plants. *Environmental and Experimental Botany*, 60, 26–32 [in English].
27. Vedenichova, N.P. & Kosakivska, I.V. (2017). Tsytokininy yak rehulyatory ontogenezu roslin za riznykh umov zrostannya [Cytokinins as regulators of plant ontogenesis under different growth conditions]. Kyiv: Nash format [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 04.04.2024