

<https://doi.org/10.15407/frg2023.05.441>

УДК 633.888:631.816(477.42)

ОСОБЛИВОСТІ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ *TANACETUM VULGARE*

О.І. РУДНИК-ІВАЩЕНКО^{1,2}, Л.М. МИХАЛЬСЬКА², В.В. ШВАРТАУ²

¹Інститут садівництва Національної аграрної академії наук України
03027 Київ, вул. Садова, 23

²Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17

e-mail: rudnik2015@ukr.net

У польових дослідженнях 2020—2022 рр. встановлено, що застосування основних редокс-мікроелементів, для яких на переважній більшості площ України спостерігається дефіцит, при вирощуванні пижма звичайного на темно-сірому опідзоленому, середньосуглинковому на карбонатному лесі ґрунті є ефективним. Так, мікроелементи в системі добрива—рослини істотно підвищують урожайність культури порівняно з контролем без добрив і NPK-фоном. Найбільшою врожайністю загальної біомаси від використання мікроелементів у середньому за роки досліджень була за дії цинку. В середньому за три роки досліджень реакція культури на зростаючі рівні фону живлення цинком наближалася до концентраційно залежної; у сезоні 2022 р. таку дію цинку за підвищення доз елемента не спостерігали. За фонового внесення макроелементів збільшення накопичення цинку та міді у квітках пижма не спостерігали. Зниження вмісту міді у 2020 р. може бути пов'язано з «ефектом розбавлення» за накопичення біомаси. Збільшуючи дози внесення цинку в 2021 р. спостерігали також підвищення рівнів накопичення мікроелементів. У 2021 р. статистично достовірне підвищення накопичення цинку було на варіантах Zn₁ та Zn₂. У разі збільшення доз внесення міді у роки досліджень фіксували відповідне підвищення рівнів накопичення мікроелемента у квітках. Проте максимальні рівні вмісту міді не перевищували 0,87 мг/кг, що значно нижче за рівні регламентованого у вітчизняних і міжнародних нормативних документах вмісту. Таким чином, живлення цинком та міддю лікарської рослини пижма звичайного є важливим для нарощування продуктивності культури в умовах перенесення виробництва у Центральну Україну. При цьому рівні накопичення цих елементів у кінцевій продукції зростають, що важливо для отримання продукції з вищою якістю.

Ключові слова: *Tanacetum vulgare* L. Bernh., пижмо звичайне, продуктивність, цинк, мідь.

Однією з проблем сучасного рослинництва є дефіцит доступних форм мікроелементів для людини і рослин, що призводить до «прихованого голоду» [1] й зниження продуктивності культурних рослин, погіршення якості продукції [1—4]. Основними причинами цього є

Цитування: Рудник-Іващенко О.І., Михальська Л.М., Швартау В.В. Особливості мінерального живлення *Tanacetum vulgare*. *Фізіологія рослин і генетика*. 2023. 55, № 5. С. 441—449. <https://doi.org/10.15407/frg2023.05.441>

малі запаси доступних для рослин мікроелементів у ґрунтах, багаторічний їх виніс без компенсаційного внесення, пов'язаний з інтенсифікацією сільського господарства та підвищенням урожайності сільськогосподарських культур, обмежене використання органічних добрив, низький рівень застосування мікродобрив тощо. Дефіцит або, рідше, надлишок мікроелементів спричинює виникнення ендемічних захворювань рослин, тварин і людини [5, 6].

Питання діагностики й оптимізації мінерального живлення, ефективності мікроелементів для лікарських рослин в умовах України залишаються не вивченими, а нестача в ґрунтах мікроелементів є недооціненим агроекологічним чинником. У зв'язку з цим вивчення закономірностей дії та післядії мікроелементів (цинку, міді) у системі добрива—ґрунт—лікарські рослини є необхідним.

Актуальність досліджень також пов'язана з тим, що вирощування лікарських рослин перебуває у кризовому стані, а з 2022 р. потреби великої кількості людей у лікуванні зумовлюють необхідність розвитку напряму підвищення продуктивності культурних, у тому числі й лікарських рослин.

З вітчизняних лікарських рослин добре відомим є пижмо звичайне (*Tanacetum vulgare* L. (*Chrysanthemum vulgare* (L.) Bernh., *Pyrethrum vulgare* (L.) Boiss)) — багаторічна трав'яниста рослина родини айстрових (складноцвітих). Пижмо звичайне включене у фармакопеї низки країн світу, в тому числі описане у Державній Фармакопеї України (ДФУ) [18]. Рослина багата на флавоноїди — поверхневі флавоноїди (метилові ефіри флавонів), також має кавову кислоту, глікозиди, стерини, тритерпени. Ще однією важливою групою біологічно активних сполук, виявлених в ефірній олії *T. vulgare*, є сесквітерпенові лактони, які включають відомі партенолід і танацетин тощо. Пижмо містить флавоноїди і фенолкарбонові кислоти у кількості $\geq 2,5$ % у перерахунку на лютеолін, також етерну олію (0,1—0,3 %), у складі якої виявлено 1,8-цінеол, α -терпінен, ахілен, мірцен, β -феландрен, сабіненгідрат, хризантенол, хризантединацетат, γ - і δ -кадинени, α - і β -пінени, α - і β -туйони, борнеол, L-камфора, каламен, елеміцин, тимол; сесквітерпеноїди; танацетин 0,1—0,33 %, партенолід, хризанін, тамірин, танахін, тавулін, сантамарин, кампестерин та ін. До складу тритерпеноїдів входять α - і β -амірини, таракастерол, псевдотаракастерол. Флавоноїди представлені похідними апігеніну, акацетину, лютеоліну, кверцетину. Дубильні речовини — 3,69 %. Виявлено алкалоїди, органічні кислоти (винна, гідроксикорична, кавова). Крім цього, рослин також містять метоксифлавоїди, алкалоїди, дубильні речовини, органічні кислоти, смоли, каротиноїди, вітамін С до 8 мг % та інші [7—9].

Пижмо звичайне використовують як жовчогінний, спазмолітичний, протигельмінтний, тонізуючий, протиемболічний, протидіабетичний, сечовий та гіпотензивний засіб, що має стимулюючу дію на внутрішні органи черевної порожнини. Відомо, що екстракту з рослин властива протипухлинна, протизапальна, антиоксидантна дія. Виявляє протимікробну активність і протималярійний ефект [9].

Рід *Tanacetum*, до якого входять різноманітні види, такі як *T. vulgare* (пижмо звичайне), *T. parthenium* (маруна дівоча), *T. cinerariifoli-*

um (піретрум) та ін., має важливе значення у багатьох напрямках. *T. parthenium* традиційно використовують у фітотерапії. Деякі види *Tanacetum* застосовують для лікування різних захворювань, зокрема проблеми з травленням і менструальним циклом. Види роду *Tanacetum* використовували у традиційній і народній медицині в різних культурах протягом століть. Їх історичне застосування відображає велике значення у традиційних лікувальних практиках. Кілька видів *Tanacetum* вирощують як декоративні рослини через їх привабливі квіти різних кольорів для прикрашення садів й ландшафтів. *T. cinerariifolium* є джерелом природних інсектицидів, відомих як піретроїди. Інсектициди на основі цих сполук широко застосовують для захисту від шкідників у сільському господарстві, садівництві й побуті. Низку видів *Tanacetum* також використовують у садівництві як рослини-супутники для відлякування шкідників. Наприклад, сильні аллопатичні виділення пижма звичайного (*T. vulgare*) відлякують деяких комах, якщо його висаджувати поряд з іншими культурами.

Види роду *Tanacetum* сприяють біорізноманіттю екосистем, забезпечуючи середовище існування для різних комах і диких тварин. Пижмо використовують для створення біоценозів на низькородючих ґрунтах та за дефіциту вологи протягом вегетації. З 2014 р. у Центральній Україні під культуру пижма звичайного відводять переважно земельні ділянки з низьким рівнем родючості, тому формування належного для культури фону живлення є важливим для нарощування продуктивності.

Згідно з Zinc Nutrient Initiative (ZNI), з усіх біологічно важливих мікроелементів у ґрунтах дефіцит цинку є найпоширенішим й спостерігається на більш як половині сільськогосподарських земель світу. Так, у звіті IHS Chemical Economics Handbook: Inorganic Zinc Chemicals зазначено, що у 2018 р. глобальний дефіцит цинку становив 50–65 %, що є серйозною світовою проблемою [10]. Особливо гостро нестача мікроелементів виявляється у ґрунтах країн світу, що розвиваються [3, 10]. У Японії, США, Бразилії, Філіппінах, Індії, Пакистані, Китаї нестача цинку також є основною проблемою живлення рослин [11, 12]. За даними колег і за нашими багаторічними дослідженнями з визначення елементного складу ґрунтів, у всіх ґрунтово-кліматичних зонах України рівні вмісту цинку є недостатніми для формування високої продуктивності культурних рослин, у тому числі й лікарських.

В Україні з 34,1 млн га орних земель 18 млн га (56 %) з низьким вмістом рухомого цинку, 2,5 млн га (8 %) — рухомої міді [13, 14]. Вміст легкодоступних Zn і Cu нижче критичних рівнів для росту та розвитку рослин призводить до значних втрат у рослинництві, знижує їх врожайність та якість, спричинює розвиток ендемічних хвороб у тварин і людини [8, 9], а також ослаблює резистентність культурних рослин до впливу біотичних й абіотичних стресів.

Дефіцит мікроелементів характерний для різних біогеохімічних провінцій розвинених країн світу і населення, що у них проживають. Дефіцит цинку в організмі людини спостерігається у 17–25 % жителів нашої планети [10]. Вирішити цю проблему можливо форму-

ванням відповідних для потреб сільськогосподарських культур рівнів живлення [11], у тому числі й лікарських рослин, окремими біологічно значущими елементами (наприклад, цинком і міддю), для яких на переважній більшості площ в Україні спостерігаються симптоми дефіциту.

Внесення есенціальних мікроелементів у ґрунт активує ферментативні процеси у лікарських рослин, що посилює біосинтез та накопичення в них біологічно активних речовин, підвищує цінні якості сировини. Мікроелементи в рослинах знаходяться у доступній, органічно зв'язаній формі, що підвищує їх засвоєння, а зв'язок з біологічно активними речовинами сприяє посиленню фармакологічних ефектів [3, 7, 10]. Отже, проблема мінерального живлення й ефективності мікродобрив для багаторічних лікарських рослин є актуальною і має важливе значення у розвитку лікарського рослинництва в Україні, а її вирішення спрямоване на підвищення врожайності та якості таких культур і збереження родючості ґрунтів.

У численних працях останніх років розглядаються питання використання пижма звичайного як біоіндикаторної рослини [15, 16]. *T. vulgare* накопичує хром і залізо в коренях, а найвищі концентрації мангану і цинку — в листках.

Зазначено [17], що дефіцит цинку в ґрунті є важливим обмеженням для виробництва сільськогосподарських культур і добре відомою проблемою для здоров'я людини. У напівпосушливих і посушливих регіонах світу дефіцит цинку дуже поширене явище внаслідок збільшення фіксації та зменшення розчинності. Географічно існує дуже тісний взаємозв'язок між дефіцитом цинку в ґрунті та організмі людини, що засвідчує зростаючу потребу в біофортificaції сільськогосподарських культур цинком. Біофортificaція сільськогосподарських культур може бути економічно ефективною і довгостроковою стратегією боротьби з дефіцитом цинку та запобігання захворюваності серед цільових груп населення. Культури, які були біофортифіковані, можуть забезпечити достатню кількість мікроелементів для цільової групи населення. Незважаючи на фізіологічні, економічні й регуляторні обмеження, біофортифіковані культури є перспективними у боротьбі як безпосередньо з голодом, так і з прихованим голодом — дефіцитом мікроелементів.

Метою нашої роботи було визначення особливостей живлення основними редокс-мікроелементами — цинком і міддю, для яких на теренах України спостерігається дефіцит у ґрунтах, відомої лікарської рослини пижма звичайного.

Методика

Польові дослідження проводили в умовах стаціонарного досліду лабораторії квітково-декоративних і лікарських культур Інституту садівництва НААН України у 2020—2022 рр. Аналіз ґрунту виконували в лабораторії агрохімії Інституту.

Польові досліді закладали за схемою, представленою в табл. 1. Схема насаджень у дослідках, з яких брали зразки рослин пижма звичайного, 3 × 4 м, повторність 4-разова. Догляд за посівами полягав у

ТАБЛИЦЯ 1. Схема польового дослідю з пижмом звичайним, 2020–2022 рр.

№	Варіант	Елементи живлення
1	Контроль	Без добрив
2	Нітроамофоска, фон	N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂
3	Цинку сульфат, гептагідрат	Zn ₁
4		Zn ₂
5		Zn ₃
6		Zn ₅
7		Міді сульфат, пентагідрат
8	Cu _{0,2}	
9	Cu _{0,3}	
10	Cu _{0,5}	

Примітка. Zn₁–Zn₅ — 1–5 кг/га цинку; Cu_{0,1}–Cu_{0,5} — 0,1–0,5 кг/га міді. Нітроамофоску вносили у період підготовки ґрунту до сівби врозкид. Мікроелементи вносили перед сівбою обприскувачем, норма витрати води 400 л/га.

мікроелементів у дослідях зразки рослин відбирали з ділянок кожного варіанта у фазі масового цвітіння (ВВСН 61-65). Кінцевою сировиною були квітки пижма звичайного — *Flores Tanaceti*. Збирали кошики, що розпустилися, без квітконіжок, з подальшим досушуванням до сталої маси. Для аналізу висушені до сталої маси зразки рослин перемелювали на лабораторному млині та проводили озолення в азотній кислоті (осч, перегнана) за допомогою мікрохвильової системи пробопідготовки.

Вміст цинку та міді у зразках визначали на емісійному мас-спектрометрі ICP-OES Agilent 5900. Усі розчини готували на воді 1-го класу (18 МОМ), підготовлених на системі очищення води Scholar-UV NexUp 1000 (Human Corporation, Південна Корея). Як калібрувальні стандарти використовували розчини Standard solution IV-ICPMS-71A фірми Inorganic Ventures, USA. Промивали 2 %-м розчином ICP-grade азотної кислоти. Як внутрішній стандарт використовували $1 \cdot 10^{-6}$ М розчин Sc фірми Inorganic Ventures, USA.

Елементний склад темно-сірого опідзоленого, середньосуглинкового на карбонатному лесі ґрунту дослідних ділянок: щільність ґрунту перед сівбою — 1,5 г/см³, рН (KCl) — 5,9, вміст гумусу в орному шарі — 1,3 %, вміст елементів живлення (мг/кг): азот — 87, фосфор — 96, калій — 42, бор — 0,3, мідь — 1,6, цинк — 1,8.

Результати опрацьовано статистично з використанням програми Microsoft Excel 2019 з StatPlus від AnalystSoft Inc. Version v.7 (<https://www.analystsoft.com/en/>).

Результати та обговорення

Встановлено, що продуктивність пижма звичайного залежала від рівнів мінерального живлення в усі роки проведення досліджень. Найвищий врожай формували рослини третього року вегетації. За

послідовних ручних прополюваннях бур'янів упродовж вегетації. Пестициди не використовували.

Ґрунтові й рослинні зразки відбирали за загальноприйнятими методиками. Ґрунтові зразки розмелювали на машині ІПП-1,2, просіювали крізь сито діаметром в 1 мм і визначали гумус методом Тюріна, гранулометричний склад за Качинським, рН потенціометричним методом, легкогідролізований азот за Корнфілдом, рухомий фосфор і обмінний калій за Чиріковим.

Для аналізу вмісту

попередніми нашими дослідженнями, чотирирічні посіви значно знижували врожай сировини, тому вирощувати культуру в Центральній Україні доцільно лише протягом трьох вегетаційних періодів.

Фонове внесення макроелементів $N_{32}P_{32}K_{32}$ забезпечувало статистично достовірне підвищення врожаїв — від 0,9 т/га у 2020 р. до 2,5 т/га у 2012 р. й до 3,1 т/га у 2022 рр. відповідно — за умов вирощування на бідних ґрунтах межі Полісся—Лісостеп (табл. 2).

Внесення важливого редокс-мікроелемента цинку, для якого на переважній більшості площ України та у світі спостерігається дефіцит, істотно впливало на формування продуктивності культури. Збільшення доз внесення цинку перед сівбою підвищувало продуктивність в усіх варіантах досліду. При цьому внесення Zn_3 та Zn_5 не приводило до статистично достовірного підвищення продуктивності культури порівняно з Zn_2 . У 2021 р. внесення Zn_1 та Zn_2 сприяло підвищенню продуктивності, подальше ж підвищення доз цинку не впливало на зміни продуктивності. У 2022 р. при внесенні цинку спостерігали підвищення продуктивні за відсутності концентраційної залежності. Отже, у середньому за роки досліджень внесення цинку в дозах Zn_1 та Zn_2 підвищувало продуктивність лікарської рослини, проте подальше нарощування доз було малоефективним.

За внесення міді зростання продуктивності культури було значно менш вираженим. Лише за внесення $Cu_{0,1}$ у 2021 р. спостерігали підвищення продуктивності. Подальше збільшення доз внесення мікроелемента не сприяло підвищенню врожаю. У 2021 та 2022 рр. в усіх варіантах з внесенням міді було виявлено підвищення продуктивності за відсутності концентраційної залежності.

За фонове внесення макроелементів зростання накопичення цинку та міді у квітках пижма не спостерігали (табл. 3). Зниження вмісту міді у 2020 р. може бути пов'язано із «ефектом розбавлення»

ТАБЛИЦЯ 2. Вплив фону живлення на урожайність (т/га) пижма звичайного (*Thapsacetum vulgare* L.) за період 2020—2022 рр.

Варіант	2020	2021	2022	
Контроль (без добрив)	5,31±0,05 ^a	9,10±0,44 ^a	10,08±0,46 ^a	
Фон ($N_{32}P_{32}K_{32}$)	6,21±0,04 ^b	12,63±0,39 ^b	13,18±0,32 ^b	
Фон	Zn_1	6,77±0,09 ^b	12,68±0,10 ^b	13,84±0,23 ^b
	Zn_2	7,54±0,06 ^c	13,18±0,06 ^b	13,78±0,36 ^b
	Zn_3	7,52±0,08 ^c	13,67±0,74 ^b	13,90±0,42 ^b
	Zn_5	7,79±0,15 ^a	13,90±0,18 ^b	13,51±0,41 ^{ab}
	$Cu_{0,1}$	6,99±0,09 ^{bc}	12,65±0,16 ^b	13,81±0,07 ^b
	$Cu_{0,2}$	6,41±0,07 ^{ab}	12,66±0,01 ^b	13,34±0,08 ^{ab}
	$Cu_{0,3}$	6,05±0,09 ^b	12,12±0,18 ^b	13,28±0,35 ^{ab}
	$Cu_{0,5}$	6,00±0,12 ^b	12,76±0,09 ^b	13,30±0,33 ^{ab}

Примітка. Тут і в табл. 3: середні значення показника, позначені однаковими літерами, свідчать про недостовірну різницю за $p < 0,05$.

ОСОБЛИВОСТІ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ *TANACETUM VULGARE*ТАБЛИЦЯ 3. Вплив фону живлення на накопичення цинку й міді (мг/кг) у надземній частині рослини пижма звичайного (*Tanacetum vulgare L.*) у фазу ВВСН 61 за період 2020–2021 рр.

Варіант	Zn		Cu	
	2020	2021	2020	2021
Контроль (без добрив)	0,3 ^a	0,5 ^a	0,08 ^a	0,05 ^a
Фон (N ₃₂ P ₃₂ K ₃₂)	0,2 ^a	0,6 ^a	0,04 ^b	0,06 ^a
Фон	Z ₁	0,8 ^b	0,9 ^b	—
	Zn ₂	1,2 ^b	1,9 ^b	—
	Zn ₃	1,5 ^b	2,2 ^b	—
	Zn ₅	1,8 ^г	2,3 ^b	—
	Cu _{0,1}	—	—	0,11 ^a
Cu _{0,2}	—	—	0,15 ^a	0,24 ^b
Cu _{0,3}	—	—	0,22 ^г	0,27 ^a
Cu _{0,5}	—	—	0,87 ^a	0,33 ^г

за нарощування біомаси. У 2021 р. за збільшення внесення цинку відбувалося також підвищення рівнів накопичення мікроелементів, статистично достовірне зростання накопичення цинку було між варіантами Zn₁ та Zn₂. Збільшення доз внесення міді у роки досліджень підвищувало рівні накопичення мікроелемента у квітках. Проте максимальні рівні вмісту міді не перевищували 0,87 мг/кг, що істотно нижче за рівні регламентованого у вітчизняних і міжнародних нормативних документах вмісту [18, 19].

Таким чином, встановлено ефективність застосування при вирощуванні пижма звичайного на темно-сірому опідзоленому, середньосуглинковому на карбонатному лесі ґрунті основних редокс-мікроелементів (Zn і Cu), для яких на переважній більшості площ України спостерігається дефіцит. Ці мікроелементи істотно підвищували продуктивність культури порівняно з контролем і фоновим живленням. Найбільша загальна біомаса у середньому за роки досліджень (2020–2022) спостерігалася за дії цинку, при цьому реакція культури на різні рівні живлення мікроелементом наближалася до концентраційної залежності.

За фонового внесення макроелементів (N₃₂P₃₂K₃₂) зростання накопичення цинку та міді у квітках пижма не спостерігали. У 2021 р. статистично достовірне підвищення накопичення цинку у квітках було на варіантах Zn₁ та Zn₂. За зростання доз внесення міді реєстрували відповідне підвищення рівнів її накопичення у квітках. Однак максимальні рівні вмісту міді не перевищували 0,87 мг/кг, що істотно нижче рівнів, регламентованих у вітчизняних і міжнародних нормативних документах.

Отже, підживлення лікарської рослини пижма звичайного цинком і міддю важливе для підвищення продуктивності культури в умовах перенесення виробництва у Центральну частину України. При цьому рівні накопичення цих елементів у *Flores Tanacetum* зростають, що сприяє поліпшенню якості продукції.

REFERENCES

1. FAO. IFAD. UNICEF. WFP. WHO . The State of Food Security and Nutrition in the World 2020: Transforming Food Systems for Affordable Healthy Diets. FAO; Rome, Italy.
2. Praharaaj, S., Skalicky, M., Maitra, S., Bhadra, P., Shankar, T., Brestic, M., Hejnak, V., Vachova, P. & Hossain, A. (2021). Zinc biofortification in food crops could alleviate the zinc malnutrition in human health. *Molecules* (Basel, Switzerland), 26 (12), 3509. <https://doi.org/10.3390/molecules26123509>
3. Cakmak, I. & Kutman, U.B. (2018). Agronomic biofortification of cereals with zinc: A review. *Eur. J. Soil Sci.*, 69, No. 1, pp. 172-180. <https://doi.org/10.1111/ejss.12437>
4. Yaseen, M.K. & Hussain, S. (2021). Zinc-biofortified wheat required only a medium rate of soil zinc application to attain the targets of zinc biofortification. *Arc. Agr. Soil Sci.*, 67, pp. 551-562. <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1739659>.
5. Alloway, B.J. (2008). *Micronutrient deficiencies in global crop production*. London: Springer Netherlands.
6. Velu, G., Ortiz-Monasterio, I., Cakmak, I., Hao, Y. & Singh, R. (2014). Biofortification strategies to increase grain zinc and iron concentrations in wheat. *J. Cer. Sci.*, 59, pp. 365-372. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.09.001>
7. Williams, A.C., Harborne, J.B. & Geiger, J.R. (1999). The flavonoids of *Tanacetum parthenium* and *Tanacetum vulgare* and their anti-inflammatory properties. *Phytochem.*, 51, pp. 417-423. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(99\)00021-7](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(99)00021-7)
8. Raal, A., Orav, A. & Gretchushnikova, T. (2014). Essential oil content and composition in *Tanacetum vulgare* L. herbs growing wild in Estonia. *J. Essen. Oil Bear. Plants*, 17, No. 4, pp. 670-675. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.958554>
9. Khatib, S., Sobeh, M., Faraloni, C. & Bouissane, L. (2023). *Tanacetum* species: Bridging empirical knowledge, phytochemistry, nutritional value, health benefits and clinical evidence. *Front. Pharmac.*, 14, 1169629. <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1169629>
10. FEECO International, Inc. Retrieved from <https://feeco.com/global-zinc-deficiency-and-the-growing-zinc-fertilizer-market>
11. Wessells, K.R. & Brown, K.H. (2012). Estimating the global prevalence of zinc deficiency: results based on zinc availability in national food supplies and the prevalence of stunting. *PLoS One*, 7, No. 11, pp. 505-568. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050568>
12. Valenca, A.W., Bake, A., Brouwer, I.D. & Giller, K.E. (2017). Agronomic biofortification of crops to fight hidden hunger in sub-Saharan Africa Author links open overlay panel. *Global Food Secur.*, 12, pp. 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.12.001>
13. Balyuk, S.A. & Fateev, A.I. (2012). *Scientific and technological bases of micronutrient nutrition management of agricultural crops*. Kharkiv: Miskdruk [in Ukrainian].
14. Fateev, A.I. & Pashchenko, Y.V. (Eds.). (2003). *Background content of microelements in soils of Ukraine*. Kharkiv [in Ukrainian].
15. Jasion, M., Samecka-Cymerman, A., Kolon, K. & Kempers, A.J. (2013). *Tanacetum vulgare* as a bioindicator of trace-metal contamination: a study of a naturally colonized open-pit lignite mine. *Arc. Env. Contam. Toxicol.*, 65, pp. 442-448. <https://doi.org/10.1007/s00244-013-9922-4>
16. Vaverkova, M.D. & Adamcova, D. (2014). Heavy metals uptake by select plant species in the landfill area of Štěpánovice, Czech Republic. *Pol. J. Env. Stud.*, 23, No. 6, pp. 2265-2269. <https://doi.org/10.15244/pjoes/26106>
17. Noman, Y., Iza, F., Iftikhar, A., Ahmad, I.A. & Ayyaz, M.K. (2023). Alleviation of zinc deficiency in plants and humans through an effective technique; biofortification: A detailed review. *Acta Ecol. Sinica*, 43, Iss. 3, pp. 419-425. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2022.07.008>
18. State Pharmacopoeia of Ukraine. State Enterprise «Scientific and Expert Pharmacopoeia Centre». (2004). 1st ed. Kharkiv: RI REG. Retrieved from <http://sphu.org/viddil-dfu>
19. *Quality control methods for medicinal plant materials*. (1998). 1, 2. Geneva, World Health Organization.

Received 06.11.2023

PECULIARITIES OF *TANACETUM VULGARE* MINERAL NUTRITION

O.I. Rudnyk-Ivashchenko^{1,2}, L.M. Mykhalska², V.V. Schwartau²

¹Institute of Horticulture, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
23 Sadova St., Novosilky, Kyiv Region, 03027, Ukraine

²Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasylykivska St., Kyiv, 03022, Ukraine

The effectiveness of the use of the main redox microelements (Zn and Cu) in the cultivation of common tansy on dark gray podzolized, medium loam on carbonate loess soil, for which a deficiency is observed in the vast majority of areas of Ukraine, has been established. These trace elements significantly increased the productivity of the culture compared to the control and the background (N₃₂P₃₂K₃₂). The largest total biomass on average over the years of research (2020–2022) was observed under the influence of zinc, while the response of the culture to different levels of nutrition with this trace element approached the concentration dependence. With the background introduction of macronutrients, no increase in the accumulation of zinc and copper in tansy flowers was observed. In 2021, a statistically significant increase in zinc accumulation in flowers was on treatments Zn₁ and Zn₂. A corresponding increase in the levels of Cu accumulation in flowers was registered with increasing doses of its application. However, the maximum levels of copper content did not exceed 0.87 mg/kg, which is significantly lower than the levels of acceptable content in domestic and international regulatory documents. Therefore, feeding the medicinal plant common tansy with zinc and copper is important for increasing the productivity of the culture under the conditions of the production transfer to the Central part of Ukraine. At the same time, the levels of zinc and copper accumulation in Flores Tanacetii increase, which contributes to the improvement of product quality.

Key words: *Tanacetum vulgare* L. Bernh., common tansy, productivity, zinc, copper.

ORCID

О.І. РУДНИК-ІВАЩЕНКО — O.I. Rudnyk-Ivashchenko <https://orcid.org/0000-0003-2724-9482>

Л.М. МИХАЛЬСЬКА — Liudmyla Mykhalska <https://orcid.org/0000-0002-0677-5574>

В.В. ШВАРТАУ — Victor Schwartau <https://orcid.org/0000-0001-7402-5559>