УДК 635.25:631.81:631.4.
DOI https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2026.35.36

НАКОПИЧЕННЯ ZN І CU У ЦИБУЛІ РІПЧАСТІЙ (ALLIUM CEPA L.) ЗА РІЗНОГО МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ НА СІРИХ ЛІСОВИХ ҐРУНТАХ

ПІДДУБНА А.М. – доктор філософії з агрономії
orcid.org/0000-0002-0204-1338
Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Вирощування цибулі ріпчастої є важливим напрямом овочівництва, оскільки ця культура належить до продуктів щоденного споживання, а її якість безпосередньо впливає на харчову безпеку населення. Поряд із формуванням урожайності, сучасні технології мають забезпечувати стабільні показники екологічної чистоти продукції, зокрема щодо вмісту потенційно небезпечних елементів. Особливу увагу привертають такі мікроелементи, як цинк і мідь, з одного боку, вони є фізіологічно необхідними для рослин і людини, а з іншого – за надлишкового надходження можуть накопичуватися в рослинах і створювати ризики, що регламентуються санітарно-гігієнічними вимогами до харчових продуктів [1].

Мінеральне удобрення є одним із ключових керованих чинників, здатних змінювати міграцію та доступність елементів у системі ґрунт–рослина. Внесення азотних, фосфорних і калійних добрив може впливати на реакцію ґрунтового середовища, іонний склад ґрунтового розчину, інтенсивність кореневого поглинання та перерозподіл елементів у рослині [2]. Унаслідок цього за однакових вихідних властивостей ґрунту різні режими NPK можуть формувати відмінні рівні накопичення Zn і Cu в цибулі. Для сірих лісових ґрунтів, поширених у лісостеповій зоні України, питання взаємозв'язку удобрення й акумуляції мікроелементів є особливо актуальним, оскільки ці ґрунти чутливо реагують на агрохімічні навантаження, а зміна доступності елементів може проявлятися навіть за відсутності явного техногенного забруднення [3, 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У більшості навчальних і наукових видань підкреслюється, що цибуля має відносно слабко розвинену, поверхневу кореневу систему, а тому гірше, ніж багато інших овочевих культур, компенсує нерівномірність забезпечення елементами живлення. Це підвищує значення системного внесення добрив і правильного розподілу доз у часі, тобто основне внесення та підживлення. Такі положення типово наводяться в українських технологічних матеріалах з овочівництва, де також зазначають роль мікроелементів (Cu, Zn тощо) для стабільної продуктивності та якості [5–7].

Цибуля дуже чутлива до дефіциту поживних речовин, ніж більшість овочів, через її неглибокі та нерозгалужені корені, тому вони переважно добре реагують на додавання добрив. Азот (N), калій (K) і фосфор (P) називають основними макроелементами через велику кількість, яку рослини поглинають із ґрунту порівняно з іншими основними поживними речовинами. Більшість культур мають вищу ймовірність дефіциту цих поживних речовин [8, 9].

Огляд Geisseler (2022) систематизує, що для цибулі характерна низька ефективність використання азоту через особливості кореневої системи та динаміку потреби N упродовж вегетації, при цьому надлишок або невдалий розподіл азотних доз підвищує ризик втрат у тому числі вимивання, а також може змінювати якість цибулин і фізіологічний стан рослин. Саме тому у сучасних схемах наполягають на роздрібненні азотного живлення на кілька підживлень у критичні фази росту [10].

Польові досліди останніх років підтверджують, що градієнт доз азоту істотно впливає на урожай і якісні показники цибулі, оптимум часто лежить між дефіцитним і максимальним рівнями, а реакція залежить від способу вирощування та умов сезону [11].

У моделях удобрення цибулі фосфор і калій зазвичай закладають під основний обробіток, що добре узгоджується з практиками, описаними у сучасних наукових експериментах, де P і K вносять одноразово або частково розділяють, використовуючи форми на кшталт суперфосфату та калійних солей [12].

Окремі польові дані показують, що ефект калію на врожай і якість може бути не завжди виразним, особливо якщо ґрунт достатньо забезпечений даним елементом, але вплив K часто проявляється через водний режим, щільність тканин, стійкість і зберігання, а також через іонні взаємодії (K^+,Ca^{2+},Mg^{2+} тощо) [13].

У моделях удобрення цибулі фосфор і калій зазвичай закладають під основний обробіток, що добре узгоджується з практиками, описаними у сучасних наукових експериментах, де P і K вносять одноразово (P) або частково розділяють (K), використовуючи форми на кшталт суперфосфату та калійних солей [14].

Для сірих лісових ґрунтів в українських агрохімічних джерелах наголошується на значенні реакції середовища, ємності вбирання, кислотності та пов'язаних із цим змін доступності елементів. Це створює підґрунтя для того, що одна й та сама схема NPK в різних умовах може давати відмінні концентрації Zn і Cu у продукції [15,16].

Мета статті – вивчити вплив мінеральних добрив (аміачної селітри, суперфосфату простого, калію хлористого) на накопичення цинку та міді у цибулі ріпчастій сорту Радар на сірих лісових ґрунтах.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проводили впродовж 2024–2025 рр. в овочевій сівозміні на сірих лісових ґрунтах в умовах Лісостепу правобережного. Закладали дослід рендомізованим методом у чотириразовому повторенні. Цибулю висаджували на початку першої декади листопада за схемою розміщення 45х6 см.

© Піддубна А.М., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

Перше підживлення здійснювали у фазі трьох справжніх листків. Друге – на початку формування цибулини (відповідна фенологічна фаза). Фенологічні спостереження та біометричні вимірювання рослин виконували за загальноприйнятими методиками. Дослід закладали за схемою п'яти варіантів у чотириразовій повторності.

Перший варіант контрольний (без удобрення), другий варіант (аміачною селітрою, N_{60}), третій варіант (удобрення калієм хлористим, K_{90}), четвертий варіант (удобрення суперфосфатом простим, P_{60}) та п'ятий варіант (удобрення комплексним добривом, N_{60} P_{60} K_{90}).

Відбір ґрунтів для агрохімічного аналізу проводили методом конверту на глибині переорювання ґрунтів (22–24 см). Відбір овочів для лабораторних досліджень проводили методом точкових проб.

Концентрацію важких металів у овочах проводили методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Коефіцієнт накопичення (Кнак.) у овочах розраховували за формулою:

$$Кнак. = Ср/Сп$$

Де Ср – концентрація забруднення речовин у овочах, мг/кг;

Сп – концентрація забруднюючих речовин у ґрунті, мг/кг.

Коефіцієнт небезпеки (Кнеб.) важких металів у овочах розраховували за формулою:

$$К(неб.) = Ср/ГДК$$

Де Ср – концентрація забруднення речовин у овочах, мг/кг;

ГДК – гранично допустимий коефіцієнт у овочах згідно ДСТУ 3234-95 Цибуля ріпчаста свіжа [17].

Результати досліджень. Результати досліджень (табл. 1) показали, що удобрення ґрунтів аміачною селітрою, калієм хлористим, суперфосфатом простим та за комплексного удобрення підвищили вміст у цибулі цинку на 1,1%, 7,0%, 3,5% та 7,0% відповідно порівняно з варіантом без удобрення.

Щодо міді, встановлено, що за удобрення ґрунту аміачною селітрою її вміст у цибулі зменшувався на 26,5%. Натомість внесення калію хлористого, суперфосфату простого та комплексного удобрення $N_{60}P_{60}K_{90}$ зумовлювало підвищення вмісту міді у цибулі відповідно на 10,0%, 12,5% і 17,5% порівняно з варіантом без удобрення.

Водночас виявлено, що концентрації цинку та міді в цибулі за всіх варіантів удобрення залишалися нижчими за ГДК, при застосуванні аміачної селітри у 5,8 та 10,2 раза, калію хлористого у 5,8 та 13,8 раза, комплексного удобрення $N_{60}P_{60}K_{90}$ у 5,6 та 11,1 раза, суперфосфату простого у 5,5 та 10,6 раза відповідно.

Аналізуючи коефіцієнт накопичення елементів у цибулі залежно від удобрення ґрунту (табл. 2), слід зазначити, що для цинку він у контрольному варіанті (без удобрення) був меншим, ніж за внесення аміачної селітри та калію хлористого у 1,01 та 1,07 раза відповідно, тоді як за комплексного удобрення $N_{60}P_{60}K_{90}$ і внесення суперфосфату простого відносно зменшувався у 0,97 та 0,95 раза.

Для міді простежувалася інша тенденція (табл. 2), коефіцієнт накопичення у варіанті без удобрення був вищим порівняно з варіантами внесення аміачної селітри, калію хлористого, комплексного добрива $N_{60}P_{60}K_{90}$ та суперфосфату простого відповідно у 0,73, 0,90, 0,50 та 0,95 раза.

Таблиця 1

Інтенсивність накопичення мікроелементів у цибулі за різного мінерального удобрення, мг/кг, (2024-2025 рр.)

Мінеральні добрива	Норми внесення добрив, кг/га	Цинк		Мідь	
		Фактична концентрація	ГДК	Фактична концентрація	ГДК
Без удобрення	-	1,70±0,23	10	0,40±0,031	5,0
Аміачна селітра	60	1,72±0,37	10	0,36±0,027	5,0
Калій хлористий	90	1,82±0,21	10	0,44±0,011	5,0
N_{60} $P_{60}K_{60}$	60,60,90	1,76±0,12	10	0,45±0,022	5,0
Суперфосфат простий	60	1,82±0,32	10	0,47±0,017	5,0

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

Таблиця 2

Коефіцієнт накопичення важких металів і мікроелементів у цибулі, (2024-2025 рр.)

Мінеральні добрива	Норми внесення добрив, кг/га	Цинк			Мідь		
		Вміст у ґрунті, мг/кг	Вміст у цибулі, мг/кг	Коеф.накопичення	Вміст у ґрунті, мг/кг	Вміст у цибулі, мг/кг	Коеф. накопичення
Без удобрення	-	1,2	1,70	1,41	0,4	0,40	1
Аміачна селітра	60	1,2	1,72	1,43	0,4	0,36	0,9
Калій хлористий	90	1,2	1,82	1,52	0,4	0,44	1,1
N_{60} P_{60} K_{90}	60,60,90	1,2	1,76	1,46	0,4	0,45	1,12
Суперфосфат простий	60	1,2	1,82	1,51	0,4	0,47	1,17

Джерело: сформоване на основі власних досліджень

Таблиця 3

Коефіцієнт небезпеки мікроелементів у цибулі за різного мінерального підживлення, (2024-2025 рр.)

Мінеральні добрива	Норми внесення добрив, кг/га	Цинк			Мідь		
		Вміст уцибулі, мг/кг	ГДК	Коефіцієнт небезпеки	Вміст уцибулі, мг/кг	ГДК	Коефіцієнт небезпеки
Без удобрення	-	1,70±0,23	10	0,17	0,49±0,031	5	0,098
Аміачна селітра	60	1,72±0,37	10	0,172	0,36±0,027	5	0,072
Калій хлористий	90	1,82±0,21	10	0,182	0,44±0,011	5	0,088
N_{60} P_{60} K_{90}	60,60,90	1,66±0,12	10	0,166	0,25±0,022	5	0,05
Суперфосфат простий	60	1,62±0,32	10	0,162	0,47±0,017	5	0,094

Джерело: сформоване на основі власних досліджень

Коефіцієнти небезпеки цинку та міді у цибулі (табл. 3) не перевищували граничного рівня 1,0. За внесення аміачної селітри значення цих показників були нижчими відповідно у 5,8 та 13,8 раза, за застосування калію хлористого у 5,5 та 11,6 раза, за комплексного удобрення $N_{60}P_{60}K_{90}$ у 6,0 та 20 разів, а за внесення суперфосфату простого у 6,1 та 10,6 раза відповідно.

Встановлено, що коефіцієнт небезпеки цинку у цибулі зростав у варіантах удобрення аміачною селітрою та калієм хлористим, тоді як за застосування комплексного добрива $N_{60}P_{60}K_{90}$ і суперфосфату простого він, навпаки, був нижчим порівняно з продукцією, отриманою у контрольному варіанті. Коефіцієнт небезпеки міді у всіх удобрених варіантах залишався нижчим, ніж у варіанті без удобрення.

Висновок. Отримані результати переконливо засвідчують, що мінеральне удобрення є чинником, здатним змінювати інтенсивність надходження цинку й міді до цибулі ріпчастої, однак за умов проведеного досліду ці зміни мали помірний характер і не супроводжувалися жодними ознаками екологічної небезпеки продукції.

За результатами дослідження встановлено, що при удобрені ґрунтів аміачною селітрою та калієм хлористим вміст у цибулі цинку підвищився. За удобрення ґрунтів комплексним добривом $N_{60}P_{60}K_{90}$ та суперфосфатом простим вміст цинку у цибулі навпаки був нижчим. Що ж стосується міді, зокрема за удобрення ґрунту аміачною селітрою, калієм хлористим, комплексним добривом $N_{60}P_{60}K_{90}$ та суперфосфатом простим вміст міді у цибулі був нижчий відповідно порівняно з варіантом без удобрення.

У підсумку можна стверджувати, що оптимізація мінерального удобрення на сірих лісових ґрунтах є не лише інструментом підтримання врожайності, а й дієвим механізмом керування мінеральним складом цибулі, забезпечуючи отримання товарної продукції, безпечної за вмістом Zn і Cu.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Кернасюк Ю. Ефективне овочівництво в Україні. *Агробізнес сьогодні*. 2019. URL: http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/13931efektyvne-ovochivnytstvo-v-ukraini.html (дата звернення 20.09.2021).
2. Піддубна А.М. Вплив мінерального удобрення ґрунтів на накопичення важких металів та мікроелементів озимим часником. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки,* 2024. № 136. Ч. 2. С. 98–104. DOI: https://doi.org/10.32782/22260099.2024.136.2.13
3. Malynovska I.M., Kaminskyi V.F., & Tkachenko M.A. Influence of heavy metals pollution on the formation of microbial community in gray forest soil. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2020. № 10(6), 94–97. DOI:https://doi.org/10.15421/2020_264
4. Razanov S., Vdovenko S., Hetman N., Didur I., & Ogorodnichuk G. Assessment of heavy metal pollution of gray forest soils of agricultural lands and their phytoremediation in the cultivation of milk thistle. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2021. № 11(6), 41–45.
5. Разанов С.Ф., Вдовенко С.А., Підддубна А.М. Особливості накопичення важких металів овочами за різного періоду їх вирощування. *Агробіологія*, 2022. № 1 (171). С. 108–114.
6. Razanov S., Piddubna A., Gucol G., Symochko L., Kovalova S., Bakhmat M., Bakhmat O. Estimation of heavy metals accumulation by vegetables in agroecosystems as one of the main aspects in food security. *International journal of ecosystems and ecology science (IJEES)*, 2022. Vol. 12 (3). P. 159–164. DOI: https://doi.org/10.31407/ijees12.320.
7. Дідур І.М. Економічна оцінка технології вирощування цибулі у розрізі виробничих витрат. *Сільське господарство та лісівництво*, 2025. № 39. С. 5–14. DOI:10.37128/2707-5826-2025-4-1
8. Sytar O., & Taran N. Effect of heavy metals on soil and crop pollution in Ukraine – a review. *Journal of Central European Agriculture*, 2022. № 23(4). P. 881–887. DOI: 10.5513/JCEA01/23.4.3603
9. Kleiber, T. Nutritive Components, Sodium and Heavy Metals in Soils from Onion Production (Allium cepa L.) in Środa Wielkopolska District. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2009. № 18(5). P. 837–843.
10. Geisseler D., Soto Ortiz R., Diaz J. Nitrogen nutrition and fertilization of onions (Allium cepa L.) – A literature review. *Scientia Horticulturae*, 2022. Vol. 291. Art. 110591. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110591.
11. Мазур В.А., Паламарчук В.Д., Поліщук І.С., Паламарчук О.Д. Новітні агротехнології у рослинництві. Підручник. Вінниця, 2017. 588 с.
12. Hahn L., Kurtz C., de Paula B. V., Feltrim A. L., Higashikawa F. S., Moreira C., Rozane D. E., Brunetto G., Parent L.-É. Feature-specific nutrient management of onion (Allium cepa) using machine learning and compositional methods. *Scientific Reports*, 2024. Vol. 14. Art. 6034. DOI: 10.1038/s41598-024-55647-9.

13. Díaz-Pérez J.C., Bautista J., Bateman A., Gunawati G., Riner C. Sweet Onion (Allium cepa) Plant Growth and Bulb Yield and Quality as Affected by Potassium and Sulfur Fertilization Rates**.** *HortScience*, 2016. Vol. 51. № 12. P. 1592–1595. DOI: 10.21273/HORTSCI11172-16.
14. Amare, G. Review on Mineral Nutrition of Onion (Allium cepa L)**.** *The Open Biotechnology Journal*, 2020. Vol. 14(1). P. 134–144. DOI: 10.2174/1874070702014010134.
15. Opriș O., et al. Responses of the Allium cepa L. to Heavy Metals from Contaminated Soil. *Plants*, 2024. № 13(20), 2913. DOI: 10.3390/plants13202913
16. Abdou H., et al. Assessment of Heavy Metal Contamination Levels in Market Gardening Soils Used to Grow Onions (Allium cepa) in the City of Abéché (Eastern Chad). *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 2023. № 11(1), P. 42–53.
17. ДСТУ 3234-95 Цибуля ріпчаста свіжа. Технічні умови [Чинний від 1996.07.01]. Київ: Держстандарт України. 1996.

REFERENCES:

1. Kernasiuk, Y. (2019). Efektyvne ovochivnytstvo v Ukraini [Efficient vegetable production in Ukraine]. *Ahrobiznes sohodni*. http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/13931-efektyvne-ovochivnytstvo-v-ukraini.html
2. Piddubna, A. M. (2024). Vplyv mineralnoho udobrennia gruntiv na nakopychennia vazhkykh metaliv ta mikroelementiv ozymym chasnykom [Effect of mineral fertilization on heavy metal and microelement accumulation in winter garlic]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Silskohospodarski nauky*, (136(2)), P. 98**–**104 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.32782/22260099.2024.136.2.13
3. Malynovska, I. M., Kaminskyi, V. F., & Tkachenko, M. A. (2020). Influence of heavy metals pollution on the formation of microbial community in gray forest soil. *Ukrainian Journal of Ecology, 10*(6), P. 94**–**97. https://doi.org/10.15421/2020_264
4. Razanov, S., Vdovenko, S., Hetman, N., Didur, I., & Ogorodnichuk, G. (2021). Assessment of heavy metal pollution of gray forest soils of agricultural lands and their phytoremediation in the cultivation of milk thistle. *Ukrainian Journal of Ecology, № 11*(6), P. 41**–**45.
5. Razanov, S. F., Vdovenko, S. A., & Piddubna, A. M. (2022). Osoblyvosti nakopychennia vazhkykh metaliv ovochamy za riznoho periodu yikh vyroshchuvannia [Features of heavy metal accumulation by vegetables during different cultivation periods]. *Ahrobiolohiia*, № 1(171), P. 108**–**114 [in Ukrainian].
6. Razanov, S., Piddubna, A., Gucol, G., Symochko, L., Kovalova, S., Bakhmat, M., & Bakhmat, O. (2022). Estimation of heavy metals accumulation by vegetables in agroecosystems as one of the main aspects in food security. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES), № 12*(3), P. 159–164. https://doi.org/10.31407/ijees12.320
7. Didur, I. M. (2025). Ekonomichna otsinka tekhnolohii vyroshchuvannia tsybuli u rozrizi vyrobnychykh vytrat [Economic assessment of onion cultivation technology in terms of production costs]. *Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo*, № 39, P. 1–10. [in Ukrainian]. https://doi.org/10.37128/2707-5826-2025-4-1
8. Sytar, O., & Taran, N. (2022). Effect of heavy metals on soil and crop pollution in Ukraine – A review. *Journal of Central European Agriculture, № 23*(4), P. 881–887. https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.4.3603
9. Kleiber, T. (2009). Nutritive components, sodium and heavy metals in soils from onion production (*Allium cepa* L.) in Środa Wielkopolska District. *Polish Journal of Environmental Studies,* **№** *18*(5), P. 837**–**843.
10. Geisseler, D., Soto Ortiz, R., & Diaz, J. (2022). Nitrogen nutrition and fertilization of onions (*Allium cepa* L.) – A literature review. *Scientia Horticulturae, № 291*, 110591. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110591
11. Mazur, V. A., Palamarchuk, V. D., Polishchuk, I. S., & Palamarchuk, O. D. (2017). *Novitni ahrotekhnolohii u roslynnytstvi [Modern agrotechnologies in crop production]* (Textbook). Vinnytsia, Ukraine. 588 p.
12. Hahn, L., Kurtz, C., de Paula, B. V., Feltrim, A. L., Higashikawa, F. S., Moreira, C., Rozane, D. E., Brunetto, G., & Parent, L.-É. (2024). Feature-specific nutrient management of onion (*Allium cepa*) using machine learning and compositional methods. *Scientific Reports, № 14*, 6034. https://doi.org/10.1038/s41598-024-55647-9
13. Díaz-Pérez, J. C., Bautista, J., Bateman, A., Gunawati, G., & Riner, C. (2016). Sweet onion (*Allium cepa*) plant growth and bulb yield and quality as affected by potassium and sulfur fertilization rates. *HortScience, № 51*(12), P. 1592**–**1595. https://doi.org/10.21273/HORTSCI11172-16
14. Amare, G. (2020). Review on mineral nutrition of onion (*Allium cepa* L). *The Open Biotechnology Journal, № 14*(1), P. 134**–**144. https://doi.org/10.2174/1874070702014010134
15. Opriș, O., et al. (2024). Responses of the *Allium cepa* L. to heavy metals from contaminated soil. *Plants, № 13*(20), 2913. https://doi.org/10.3390/plants13202913
16. Abdou, H., et al. (2023). Assessment of heavy metal contamination levels in market gardening soils used to grow onions (*Allium cepa*) in the city of Abéché (Eastern Chad). *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology, № 11*(1), P. 42**–**53.
17. Derzhstandart Ukrainy. (1996). *DSTU 3234-95. Tsybulia ripchasta svizha. Tekhnichni umovy [DSTU 3234-95. Fresh bulb onion. Specifications]* (Effective from 1996-07-01). Kyiv, Ukraine: Derzhstandart Ukrainy.

Піддубна А.М. Накопичення Zn і Cu у цибулі ріпчастій (Allium cepa L.) за різного мінерального удобрення на сірих лісових ґрунтах

Мета. Оцінити вплив мінеральних добрив (аміачної селітри, калію хлористого, суперфосфату простого та комплексного удобрення $N_{60}P_{60}K_{90}$) на накопичення цинку і міді у цибулі ріпчастій (Allium cepa L.) сорту Радар за вирощування на сірих лісових ґрунтах. **Методи.** Польовий дослід проведено у 2024-2025 рр. в овочевій сівозміні Правобережного Лісостепу на сірих лісових ґрунтах за рандомізованою схемою в чотириразовій повторності (5 варіантів: контроль без удобрення, N_{60} (аміачна селітра), K_{90} (калій хлористий), P_{60} (суперфосфат простий) та $N_{60}P_{60}K_{90}$). Посадку виконували восени за схемою 45×6 см, підживлення проводилось у фазі трьох справжніх листків та на початку формування цибулини. Ґрунтові проби відбирали методом конверту з глибини 22–24 см, рослинні – методом точкових проб. Вміст Zn і Cu у цибулі визначали методом

атомно-абсорбційної спектрофотометрії, розраховували коефіцієнт накопичення і коефіцієнт небезпеки відповідно до ДСТУ 3234-95.

Результати. За результатом дослідження встановлено, що всіх удобрених варіантах вміст Zn у цибулі був дещо вищим порівняно з контролем: за N_{60} на 1,1%, K_{90} на 7,0%, P_{60} на 3,5%, за $N_{60}P_{60}K_{90}$ на 7,0%. Фактичні концентрації Zn становили 1,70-1,82 мг/кг за ГДК 10 мг/кг, Cu – 0,25–0,49 мг/кг за ГДК 5 мг/кг. За внесення аміачної селітри вміст Cu знижувався на 26,5%, тоді як K_{90}, P_{60} та $N_{60}P_{60}K_{90}$ зумовлювали підвищення вмісту Cu на 10,0%, 12,5% і 17,5% відповідно порівняно з контролем. Коефіцієнти накопичення для Zn коливалися в межах 1,41–1,52, для Cu 0,9–1,17. Коефіцієнти небезпеки були істотно нижчими за 1,0: для Zn він становив 0,162–0,182, для Cu 0,05–0,098, найменший Кнеб. міді отримано за удобрення комплексним добривом $N_{60}P_{60}K_{90}$ – 0,05.

Висновки. Мінеральне удобрення змінює інтенсивність акумуляції Zn і Cu цибулею, однак за умов досліду концентрації обох елементів у продукції залишалися значно нижчими за ГДК, а ризики за індикаторами Кнеб. не досягали порогового рівня. Комплексне удобрення $N_{60}P_{60}K_{90}$ характеризувалося найнижчим показником небезпеки для Cu, що підтверджує можливість керувати елементним складом цибулі шляхом оптимізації системи живлення.

Ключові слова: цибуля ріпчаста; цинк; мідь; важкі метали; аміачна селітра; коефіцієнт накопичення; коефіцієнт небезпеки.

Piddubna A.M. Zn and Cu accumulation in bulb onion (Allium cepa L.) under different mineral fertilization regimes on grey forest soils

Purpose. To assess the effect of mineral fertilizers (ammonium nitrate, potassium chloride, single superphosphate, and the combined fertilization $N_{60}P_{60}K_{90}$) on zinc and copper accumulation in bulb onion (Allium cepa L.), cv. Radar, grown on grey forest soils. **Methods.** A field experiment was conducted in 2024–2025 within a vegetable crop rotation of the Right-Bank Forest-Steppe on grey forest soils using a randomized design with four replications (five treatments: unfertilized control, N_{60} (ammonium nitrate), K_{90} (potassium chloride), P_{60} (single superphosphate) and $N_{60}P_{60}K_{90}$). Planting was performed in autumn at a 45 × 6 cm spacing, top-dressing was applied at the three-true-leaf stage and at the onset of bulb formation. Soil samples were collected by the envelope method from a depth of 22–24 cm, while plant samples were taken using the point sampling method. The Zn and Cu contents in onion were determined by atomic absorption spectrophotometry the accumulation coefficient and hazard coefficient were calculated according to DSTU 3234-95.

Results. The study showed that in all fertilized treatments, the Zn content in onion was slightly higher than in the control: by 1.1% under N_{60}, 7.0% under K_{90}, 3.5% under P_{60}, and 7.0% under $N_{60}P_{60}K_{90}$. The measured Zn concentrations ranged from 1.70 to 1.82 mg/kg with an MPC of 10 mg/kg, while Cu ranged from 0.25 to 0.49 mg/kg with an MPC of 5 mg/kg. Application of ammonium nitrate reduced Cu content by 26.5%, whereas K_{90}, P_{60}, and $N_{60}P_{60}K_{90}$ increased Cu content by 10.0%, 12.5% and 17.5%, respectively, compared with the control. Accumulation coefficients ranged from 1.41 to 1.52 for Zn and from 0.9 to 1.17 for Cu. Hazard coefficients were substantially below 1.0: 0.162–0.182 for Zn and 0.05–0.098 for Cu, the lowest Cu hazard coefficient was recorded under the combined fertilization $N_{60}P_{60}K_{90}$ – 0.05.

Conclusions. Mineral fertilization alters the intensity of Zn and Cu accumulation in onion, however, under the conditions of the experiment, the concentrations of both elements in the harvested product remained markedly below the MPC, and the risk indicators based on the hazard coefficient did not reach the threshold level. The combined fertilization $N_{60}P_{60}K_{90}$ showed the lowest Cu hazard value, confirming that the elemental composition of onion can be managed by optimizing the plant nutrition system.

Key words: onion; zinc; copper; heavy metals; ammonium nitrate; accumulation coefficient; hazard coefficient.

Дата першого надходження статті до видання: 02.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 06.05.2026