

ВПЛИВ МІКРОЕЛЕМЕНТУ ЦИНКУ НА РІСТ РОСЛИН КВАСОЛІ ЗВИЧАЙНОЇ І ВМІСТ ДЕЯКИХ ФОРМ ФОСФОРНИХ СПОЛУК

О. В. ОВЧАРУК¹, доктор сільськогосподарських наук

В. І. ОВЧАРУК², доктор сільськогосподарських наук

О. В. ТКАЧ², доктор сільськогосподарських наук

В. С. КРАВЧЕНКО³, кандидат сільськогосподарських наук

Д. О. МІЛЬКЕВИЧ², здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти (доктор філософії)

¹Національний університет біоресурсів та природокористування

²ЗВО «Подільський державний університет»

³Уманський національний університет садівництва

У статті наведено результати експериментальних досліджень, які розв'язують наукову проблему вивчення впливу мікроелементу цинку на вміст органічного кислоторозчинного та лабільного фосфору нуклеотидів в коренях і листках різних ярусів квасолі звичайної

Ключові слова: квасоля звичайна, сорт, суха речовина, мікроелементи, цинк, форми фосфору, листки, технологія вирощування.

Вступ. Дефіцит поживних речовин в ґрунті викликає порушення обміну речовин в рослинах, робить сильний вплив на їх зростання і зовнішній вигляд. При нестачі поживних речовин спостерігаються: затримка росту рослин, прискорення або уповільнення фаз розвитку, зміна співвідношення між різними органами, зміна будови, розміру, форми і забарвлення листя і т. д. [1, 2]. Застосування мікроелементів у вигляді солей мікроелементів Co, Cu, Zn, Mn сприяло підвищенню врожайності зеленої маси люпину білого та люпину жовтого та сої [3, 4].

Під час вирощування квасолі тривалість вегетаційного періоду має важливе значення, оскільки ріст, розвиток та формування врожаю цієї культури може тривати від 60 до 130 діб. Встановлено, що тривалість вегетаційного періоду залежить від генетичних особливостей сорту, екологічних умов регіону та застосування конкретних елементів технології вирощування [5–7].

У наших дослідженнях та інших літературних джерелах є дані, що недостатнє забезпечення рослин квасолі цинком супроводжуються порушенням фосфорного обміну [1, 8, 9]. Низка вчених, використовуючи цитохімічні методи, спостерігали у листках деяких культур при нестачі цинку підвищений вміст неорганічного фосфору. Також біохімічними дослідженнями встановлено, що за дефіциту цинку в поживному середовищі в тканинах рослин підвищується вміст неорганічного фосфору і знижується вміст фосфору в складі органічних сполук кислоторозчинній і кислотонерозчинній фракції. Відмічено особливо різке пониження вмісту фосфору цукрофосфатів і

лабільного фосфору нуклеотидів, представленого фосфором макроергічних зв'язків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зовнішні ознаки нестачі окремих елементів живлення у різних рослин бувають різними. Тому за зовнішніми ознаками можна судити про нестачу в ґрунті того чи іншого елемента живлення і про потреби рослин в добривах. Однак уповільнення зростання і зміна зовнішнього вигляду рослин не завжди обумовлюються недовіком в ґрунті поживних речовин. Подібні зміни викликаються іноді ураженням шкідниками і хворобами або іншими несприятливими умовами зростання (посуха, низька температура і т. д.) [10, 11]. Важливо вміти відрізнити ці зміни зовнішнього вигляду рослин від змін, викликаних нестачею поживних речовин [12].

Дефіцит цинку спостерігається на кислих піщаних, карбонатних і болотних ґрунтах. При нестачі цинку спостерігаються пожовтіння і плямистість листя, іноді захоплюють і жилки листа, з'являються бронзові відтінки в забарвленні листя, розетчастість і дрібнолистковість; міжвузли утворюються короткі. Симптоми нестачі цинку розвиваються на всій рослині або локалізовані на старіших нижніх листках. Спочатку на листках нижніх і середніх ярусів, а потім і на всіх листках рослини, з'являються розкидані плями сіробурого і бронзового кольору. Тканина таких ділянок як би провалюється і потім відмирає. Молоде листя ненормально дрібне і покрите жовтими цятками або ж рівномірно хлоротичне, приймають злегка вертикальне положення, краї листя можуть закручуватися догори. Молоде листя ненормально дрібне і покрите жовтими цятками або ж рівномірно хлоротичне, приймає злегка вертикальне положення, краї листя можуть закручуватися догори. У виняткових випадках міжвузли у голодуючих рослин короткі, а листя маленькі і товсті. Плями з'являються також на стрижнях листя і на стеблах.

Дослідженнями встановлено, що недостатня кількість цинку впливає на вміст фосфорних сполук кислоторозчинній фракції, включаючи цукрофосфати та нуклеїди, в коренях і листках різних ярусів квасолі звичайної (*Phaseolus vulgaris*) сорту Буковинка [13, 14].

Методика досліджень. Дослідження проводили впродовж 2022-2023 років за НДР «Інноваційні сортові технології вирощування квасолі в умовах Правобережного Лісостепу України» (№ державної реєстрації 0121U111195).

Квасоллю вирощували методом водної культури у літрових пластикових посудинах по 20–25 рослин на такій поживній суміші: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 625; KH_2PO_4 – 150; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 125. (мг/кг). До основного поживного розчину добавляли мікроелементи 1/4 складу. Контрольні рослини отримували цинк у вигляді ZnSO_4 у кількості 12,5 мкг/л. Така доза цинку була встановлена на основі наших досліджень. Застосування більш високої дози цинку давало менший приріст вегетативної маси. Поживну суміш готували на воді. При вирощуванні рослин у проростків квасолі на 5–6 добу видаляли сім'ядолі. Ознаки нестачі цинку проявлялися на 20–21 добу після видалення сім'ядольних листочків. Поживний розчин у посудинах заміняли через кожні п'ять діб.

Вміст неорганічного фосфору, фосфору цукрофосфатів і лабільного фосфору нуклеотидів визначали у листках і коренях квасолі за 3-, 14- і 60-добової нестачі кількості цинку. Кислоторозчинні фосфорні сполуки, неорганічний фосфор, нуклеотиди, лабільний фосфор визначали згідно встановлених методик.

Результати досліджень. Спостереження за ростом і розвитком дослідних і контрольних рослин показали, що першою візуальною ознакою цинкового голодування в квасолі була затримка в рості вегетативних органів, які спостерігаються на 21–22 добу. З розвитком листки 1-го ярусу почали скручуватися і набули світлішого кольору, в цей ж період верхні продовжували рости, хоча сповільнено порівняно з контрольним варіантом.

У посудинах із продовженим використанням цинку із поживного середовища викликало також порушення в формуванні плодів квасолі: в бобах формувалось мало насіння, в більшості випадків недорозвинених, або вони були зовсім відсутні.

Фази росту й розвитку досліджених рослин квасолі звичайної характеризуються за показниками у фазі плодоношення 10 рослин. Результатами досліджень встановлено, що у варіанті досліду із внесенням цинку надземна частина рослини квасолі в середньому становила 57,90 г, без внесення цинку – 48,70 г, що на 9,20 г менше. (табл. 1).

Табл. 1. Ріст та розвиток рослин квасолі звичайної сорту Буковинка на 60-ту добу, г сирової маси

Варіант досліду	Частини рослини			
	Надземна маса	Коренева система	Плоди	Насіння
Без цинку (контроль)	57,90	32,00	10,30	0,66
Із цинком	48,70	25,97	7,70	0,37

Аналогічні показники і в формуванні кореневої системи, маса коренів у варіанті із цинком перевищує відповідно на 6,03 г, плодів – 2,60 г і насіння – 0,29 г

За нашими спостереженнями ознаки недостатньої кількості цинку вже почали проявлятися на 21–22 добу, проте внутрішні біохімічні зміни у рослин квасолі проявились раніше, про що свідчать результати досліджень за визначенням форм фосфору найбільш рухомої кислоторозчинної фракції. Як свідчать результати досліджень, що вже на 3-ю добу недостатня кількість цинку в тканинах дослідних рослин квасолі вміст органічного фосфору підвищився в листках – на 3,5 %, а в коренях – на 7,1 %.

Вміст органічного кислоторозчинного фосфору, представленого цукрофосфатами і лабільними нуклеотидами, за дефіциту цинку знижувався. Так, за 3-добової нестачі вміст фосфору цукрофосфатів у листках зменшився на 3,7 %, лабільний фосфор нуклеотидів – на 4,2 %, у коренях відповідно на 7,2 і 9,3 %.

З подальшим розвитком цинкового голодування на 15-ту добу, співвідношення вказаних форм фосфору було неоднаковим у більш молодих тканинах верхніх листків і в тканинах старих листків нижніх ярусів. Якщо у 15-ти добовому варіанті без цинку в поживному середовищі в листках 1-го ярусу кількість неорганічного фосфору збільшилось на 21,0 %, то в листках 2-го ярусу – тільки на 9,0%. Пониження органічного кислоторозчинного фосфору також більш різко проявилось в старих листках. Так, у рослин, які росли без цинку, вміст фосфору цукрофосфатів у листках 1-го ярусу зменшилося на 19,0 %, у листках 2-го ярусу – на 15,3 %, а лабільного фосфору нуклеотидів – відповідно на 12 і 7% (табл. 2).

Табл. 2. Вміст фосфору в кислоторозчинній фракції у квасолі звичайної за недостатчі цинку (в мкг/г сирової маси)

Варіант досліджу	Період, доба	Досліджува на частина рослини	Фосфор, кислото розчинний	Фосфор неорганіч ний	Фосфор, органічний кислоторозчинний	
					Цукрофосфати	Нуклеотиди
Із цинком	3	Листки 1-го ярусу	523,0	433,8	70,0	19,6
		Корені	324,0	263,1	54,5	7,8
Без цинку (контроль)	3	Листки 1-го ярусу	534,5	448,2	68,0	19,7
		Корені	338,6	282,1	50,0	7,0
Із цинком	15	Листки 1-го ярусу	390,0	351,1	31,3	9,1
		Листки 2-го ярусу	604,9	545,2	51,0	9,8
		Корені	525,4	479,0	42,2	5,2
Без цинку (контроль)	15	Листки 1-го ярусу	445,7	421,1	25,6	8,0
		Листки 2-го ярусу	644,7	593,2	43,2	9,4
		Корені	563,2	523,3	37,4	3,9
Із цинком	60	Листки 7-го ярусу	753,0	725,0	25,0	4,0
Без цинку (контроль)	60	Листки 7-го ярусу	845,1	820,0	22,0	3,1

Отримані показники підтверджують результати наших досліджень за ростом і розвитком квасолі звичайної сорту Буковинка і свідчать про те, що дефіцит цинку значно вплинув на старі тканини рослин – листки нижніх ярусів.

Також було проведено дослідження тривалості застосування цинку впродовж 15, 30 і 60 діб на вміст лабільного фосфору нуклеотидів в молодих верхніх листках як речовин, які мають важливе значення в накопиченні і транспортуванні енергії, що потрібна для нормальної життєдіяльності рослин, у тому числі для процесів росту й розвитку (табл. 3).

Табл. 3. Вміст фосфору лабільних нуклеотидів кислоторозчинної фракції верхніх листків квасолі звичайної за нестачі цинку, мкг/ г сирової маси

Варіант досліджу	Період недостатньої кількості цинку, діб		
	15 (вегетативний ріст)	30 (бутонізації)	60 (плодоношення)
Із цинком	9,12	4,33	2,22
Без цинку (контроль)	8,22	3,86	1,80

Слід також зазначити, що за 15-ти добової нестачі лабільного фосфору нуклеотидів зменшилося в дослідному варіанті порівняно із контролем на 10,6 %, то за 60-ти добової – на 18,6 %. Пониження вмісту лабільних нуклеотидів за дефіциту цинку свідчить про підвищення фосфатазної активності в тканинах рослин квасолі звичайної.

Висновки. З підвищенням вмісту неорганічного фосфору в листках і коренях квасолі звичайної за недостатньої кількості цинку можна пояснити, перше, підвищенням надходженням його із поживного розчину в кореневу систему, а потім – в листки. Друге – первинний синтез неорганічного фосфору з його участю в синтезі неорганічного фосфору з включенням до складу цукрофосфатів та нуклеотидів. Отже, зниження вмісту фосфору в складі кислоторозчинних сполук можна пояснити порушенням первинного синтезу фосфорорганічних сполук, в результаті чого вміст неорганічного фосфору підвищується, а органічного – знижується.

Продовженість вмісту цинку в поживному середовищі викликає затримку росту вегетативних органів квасолі звичайної і порушує процес формування плодів. Дефіцит цинку в більшій мірі впливає на старі тканини (листки нижніх ярусів). В них більше виражено підвищення вмісту неорганічного фосфору і пониження органічного порівняно з контролем. Порушення вмісту форм фосфору кислоторозчинної фракції проявляється значно раніше порівняно з зовнішніми ознаками нестачі цинку.

Література:

1. Pantsyreva H., Mazur K. Research of early rating soybean varieties on technology and agroecological resistance. *Theoretical and practical aspects of the development of modern scientific research: scientific monograph*. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2022. P. 84–108.
2. Vdovenko S. et al. Symbiotic potential of snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.) depending on biological products in agrocoenosis of the right-bank forest-steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. №8 (3). P. 270–274.
3. Bidenko V. M., Slavov V. P., Trohimenko V. Z., Kal'chuk L. A. Radioactivity and yield of leguminous fodder crops when they are fed with complexonates of microelements. *Agrobiodiversity for improving nutrition, health and life quality : scientific proceedings*. 2016. P. 30–33.
4. Bondarenko V., Havrylianchik R., Ovcharuk O., Pantsyreva H., Krusheknyckiy V., Tkach O. and Niemec M. Features of the soybean photosynthetic productivity indicators formation depending on the foliar nutrition. *Ecology, Environment and Conservation*. 2022. Vol. 28. P. 20–26.

5. Новицька Н. В., Мартинов О. М., Доктор Н. М. Вегетація квасолі під впливом передпосівної інокуляції насіння та удобрення. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. Вип. 2. С. 45–48.
6. Овчарук О. В. Оцінка продуктивності сортів квасолі звичайної в умовах Лісостепу Західного. *Збірник наукових праць ПДАТУ*. 2013. Вип. 21. С. 17–20.
7. Овчарук О. В. Фенологічні фази росту і розвитку рослин квасолі звичайної та їх тривалість в умовах Західного Лісостепу. *Збірник наукових праць ВНАУ*. 2014. Вип. 6(68). С. 113–119
8. Mazur V., Tkachuk O., Pantsyreva H., Demchuk O. Quality of pea seeds and agroecological condition of soil when using structured water. *Scientific Horizons*. 2021. Vol. 24 (7). P. 53–60.
9. Niemiec M., Komorowska M., Kubon M., Sikora J., Ovcharuk O., GrodekSzostak Z. Global Gap and integrated plant production as a part of the international of agricultural farms. *Proceedings of the International Scientific Conference*. 2019. P. 430–440.
10. Овчарук О. В., Каленська С. М., Ткач О. В., Овчарук В. І. Вплив розміщення напрямку рядків при сівбі квасолі звичайної відносно сонця у зеніті на фотосинтетичну продуктивність рослин, урожайність і якість продукції. *Таврійський науковий вісник*. 2022. Вип. 127. С.152–161.
11. Овчарук О., Овчарук В., Ткач О., Кравченко В. Вплив факторів зовнішнього середовища на цвітіння та плодоутворення квасолі звичайної. *Збірник наукових праць УНУС*. 2022. Вип. 100. С. 115–122.
12. Овчарук О. В., Овчарук В. І., Ткач О. В. Особливості живлення і удобрення квасолі звичайної. *Аграрна освіта і наука: досягнення, роль, фактори росту*: зб. тез доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. Біла Церква, 2023. С. 209–210.
13. Овчарук О. В., Овчарук В.І . Агроекологічна характеристика сортів квасолі звичайної та їх продуктивності в умовах Західного Лісостепу України. *Збірник наукових праць УНУС*. 2014. Вип. 84. ч. 1. С. 107–112.
14. Овчарук О. В., Каленська С. М., Овчарук В. І., Ткач О. В. Характеристика структури продуктивності, урожайності та якісного складу зерна сортів квасолі звичайної (*Phaseolus vulgaris L.*). *Збірник наукових праць «Агробіологія»*. 2021. Вип. 2. С.106–115.

References:

1. Pantsyreva, H., Mazur, K. (2022). Research of early rating soybean varieties on technology and agroecological resistance. Theoretical and practical aspects of the development of modern scientific research. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2022. Pp. 84–108.
2. Vdovenko, S. et al. (2018). Symbiotic potential of snap beans (*Phaseolus vulgaris L.*) depending on biological products in agrocoenosis of the right-bank forest-steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2018, no. 8 (3), pp. 270–274.
3. Bidenko, V. M., Slavov, V. P., Trohimenko, V. Z., Kal'chuk, L. A. (2016). Radioactivity and yield of leguminous fodder crops when they are fed with complexonates of microelements. *Agrobiodiversity for improving nutrition, health and life quality: scientific proceedings*, 2016. Pp. 30–33.
4. Bondarenko, V., Havrilianchik, R., Ovcharuk, O., Pantsyreva, H., Krusheknyckiy, V., Tkach, O., Niemiec, M. (2022). Features of the soybean

photosynthetic productivity indicators formation depending on the foliar nutrition. *Ecology, Environment and Conservation*, 2022, vol. 28, pp. 20–26.

5. Novytska, N. V., Martynov, O. M., Doctor, N. M. (2018). Vegetation of beans under the influence of pre-sowing seed inoculation and fertilizer. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 2018, issue 2, pp. 45–48. (in Ukrainian).

6. Ovcharuk, O. V. (2013). Evaluation of the productivity of common bean varieties in the conditions of the Western Forest Steppe. *Collection of scientific works of PDATU*, 2013, issue 21, pp. 17–20. (in Ukrainian).

7. Ovcharuk, O. V. (2014). Phenological phases of growth and development of common bean plants and their duration in the conditions of the Western Forest Steppe. *Collection of Scientific Works of VNAU*, 2014, issue 6(68), pp. 113–119. (in Ukrainian).

8. Mazur, V., Tkachuk, O., Pansyryeva, H., Demchuk, O. (2021). Quality of pea seeds and agroecological condition of soil when using structured water. *Scientific Horizons*, 2021, vol. 24 (7), pp. 53–60.

9. Niemiec, M., Komorowska, M., Kubon, M., Sikora, J., Ovcharuk, O., GrodekSzostak, Z. (2019). Global Gap and integrated plant production as part of the internationalization of agricultural farms. *Proceedings of the International Scientific Conference*, 2019. Pp. 430–440.

10. Ovcharuk, O. V., Kalenska, S. M., Tkach, O. V., Ovcharuk, V. I. (2022). The influence of the placement of the direction of the rows when sowing common beans relative to the sun at the zenith on the photosynthetic productivity of plants, yield and product quality. *Taurian Scientific Herald*, 2022, issue 127, pp. 152–161. (in Ukrainian).

11. Ovcharuk, O., Ovcharuk, V., Tkach, O., Kravchenko, V. (2022). Influence of environmental factors on flowering and fruiting of common bean. *Collection of scientific works of the UNUH*, 2022, issue 100, pp. 115–122. (in Ukrainian).

12. Ovcharuk, O. V., Ovcharuk, V. I., Tkach, O. V. (2023). Peculiarities of nutrition and fertilization of common beans. *Agrarian education and science: achievements, role, growth factors: coll. theses add. IV International science and practice conf. Bila Tserkva*, 2023. Pp. 209–210. (in Ukrainian).

13. Ovcharuk, O. V., Ovcharuk, V. I. (2014). Agroecological characteristics of common bean varieties and their productivity in the conditions of the Western Forest Steppe of Ukraine. *Collection of scientific works of the UNUH*, 2014, issue 84, part 1, pp. 107–112. (in Ukrainian).

14. Ovcharuk, O. V., Kalenska, S. M., Ovcharuk, V. I., Tkach, O. V. (2021). Characterization of the structure of productivity, yield and qualitative composition of the grain of common bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.). *Collection of scientific works "Agrobiology"*, 2021, issue 2, pp. 106–115. (in Ukrainian).

Annotation

Ovcharuk O. V., Ovcharuk V. I., Tkach O. V., Kravchenko V. S., Milkevich D. O. The influence of the trace element zinc on the growth of common bean plants and the content of some forms of phosphorus compounds

The article presents the results of experimental studies that solve the scientific problem of studying the influence of the trace element zinc on the content of organic acid-soluble and labile phosphorus nucleotides in the roots and leaves of different layers of common bean/

The research was conducted during 2022–2023 under the National Development Program "Innovative Varietal Bean Growing Technologies in the Conditions of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine" (state registration No. 0121U111195). Beans were grown by the method of water culture in liter plastic vessels of 20–25 plants on the following nutrient mixture: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 625; KH_2PO_4 – 150; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 125. (mg/kg).

The results of the research established that in the version of the experiment with the introduction of zinc, the above-ground part of the bean plant was on average 57.90 g, without the introduction of zinc – 48,70 g, which is 9,20 g less. The content of organic acid-soluble phosphorus, represented by sugar phosphates and labile nucleotides, decreased with zinc deficiency. Thus, during a 3-day shortage, the phosphorus content of sugar phosphates in leaves decreased by 3,7 %, labile phosphorus of nucleotides by 4,2 %, and in roots by 7,2 and 9,3 %, respectively.

In plants that grew without zinc, the phosphorus content of sugar phosphates in the leaves of the 1st layer decreased by 19,0 %, in the leaves of the 2nd layer by 15,3 %, and labile phosphorus of nucleotides by 12 and 7 %, respectively. It should also be noted that during the 15-day shortage of labile phosphorus, nucleotides in the experimental variant decreased by 10,6 % compared to the control, and by 18,6 % during the 60-day shortage. A decrease in the content of labile nucleotides under zinc deficiency indicates an increase in phosphatase activity in the tissues of common bean plants.

Key words: *common bean, variety, dry matter, trace elements, zinc, forms of phosphorus, leaves, cultivation technology.*