

Stanisław Szarek

Akademia Podlaska w Siedlcach

## EFEKTYWNOŚĆ NAWOŻENIA MINERALNEGO NA GLEBACH O ZRÓŻNICOWANEJ ZAWARTOŚCI METALI CIĘŻKICH

### EFFECTIVENESS OF MINERAL FERTILIZATION ON SOILS CONTAINED DIFFERENT LEVEL OF HEAVY METALS

**Słowa kluczowe:** efekt hormetyczny, plonowanie roślin, efektywność produkcji

*Key words:* hormesis, plant yield, effectivity of production

**Synopsis.** Wykazano, że na glebach o wyższej zawartości metali ciężkich nawożonych wyższymi dawkami nawozów mineralnych, efektywność produkcji była wyższa, niż na glebach, gdzie poziom tego nawożenia był niższy. W tej sytuacji można wnioskować, że pomiędzy nawożeniem mineralnym a zawartymi w glebie metalami ciężkimi zachodzi zjawisko komplementarności, polegające na zwiększaniu się plonów w miarę wzrostu dawek nawożenia i zawartości tych metali. Tę prawidłowość zaobserwowano w zakresie niskich zawartości metali ciężkich w glebach oraz wyższego poziomu nawożenia mineralnego.

### Wstęp

Analiza wyników dotycząca wpływu zawartych w glebie metali ciężkich pokazała, że plony w produkcji roślinnej były wyższe na glebach o większej zawartości tych metali [Szarek 2009]. Takie wnioski wypływają z zastosowania do wyjaśnienia tego wniosku efektu hormetycznego [Calabrese 1997, 2001, Stebbing 1982, Szarek 2005a,b, 2006]. Wyższa zawartość metali ciężkich w glebie działa jak naturalny stresor, stymulując układ odpornościowy roślin. Dzięki temu stają się one mniej narażone na choroby i wpływ czynników zewnętrznych. W efekcie zwiększają masę jednostkową i wydają więcej nasion. Prowadzi to w efekcie do wzrostu produktywności i efektywności.

W rolnictwie dla podniesienia plonowania stosuje się zróżnicowane dawki nawozów mineralnych. Można przypuszczać, że pomiędzy nawożeniem a zawartymi w glebie metalami ciężkimi, dochodzi do wielu współzależności, wynikających z zawartości poszczególnych pierwiastków, dawek nawozów mineralnych, oraz gatunku uprawianej rośliny.

### Cel pracy, materiał i metody badawcze

Celem badań było określenie efektywności produkcji roślinnej na glebach o zróżnicowanej zawartości metali ciężkich, przy różnych poziomach nawożenia mineralnego. Przyjęto założenie, że na glebach o wyższej zawartości metali ciężkich, nawożonych wyższymi dawkami nawozów mineralnych, efektywność produkcji będzie niższa, niż na glebach, gdzie poziom nawożenia jest niższy.

Dla zweryfikowania postawionej hipotezy przeprowadzono badania na 12 działkach rolnych, położonych w powiecie sokołowskim (gmina Jabłonna Lacka, Miedzna i Bielany). Działki zlokalizowane były na glebach klasy IVa i IVb, zaliczanych do kompleksu 4 i 5. Dane o zawartości metali ciężkich pochodziły z badań okręgowych stacji chemiczno-rolniczych. Badania przeprowadzono na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa na glebach użytków rolnych całego kraju, a wyniki zestawiono w tabeli 1. Analizowane gleby charakteryzowały się zróżnicowaną zawartością metali ciężkich. Należy stwierdzić, że ich zawartość, w porównaniu do średniej krajowej, kształtowała się na niskim i bardzo niskim poziomie [Terelak 2001]. Ogólna zawartość metali ciężkich wyniosła od 14,2 do 70,7 mg/kg (tab. 1).

Dane o plonach roślin, nawożeniu mineralnym i jego kosztach oraz o wartości produkcji pochodziły z ankiet wykonanych w latach 2006-2008 bezpośrednio u właścicieli wytypowanych działek. W związku ze zróżnicowaniem wielkości poletek z których pochodziły dane empiryczne, wszystkie

---

<sup>1</sup> 1 ppm odpowiada dawce 1 mg/kg

Tabela 1. Zawartość metali ciężkich w badanych glebach

Wyszczególnienie	Zawartość metali [mg/kg]					
	Cd	Cu	Cr	Pb	Zn	Razem
Średnia	0,08	1,71	3,67	6,93	20,97	33,36
Zakres	0,05-0,19	0,15-4,1	1,7-9,9	3,5-16	7,0-40	14,2-70,7
SD	0,05	1,33	2,97	3,85	14,85	21,66
CV [%]	62,05	77,63	81,02	55,48	70,84	64,94

Źródło: opracowanie własne.

zdrowotności i zdolności do rozmnażania, oraz zwiększeniu odporności na choroby [Stebbing 1982]. Obserwuje się dwojaki rodzaj odpowiedzi organizmu na czynniki hormetyzujące. W pierwszym przypadku występuje bezpośredni wzrost wydajności bądź plonowania. W drugim przypadku obserwuje się wzrost przeżywalności, bądź poprawę zdrowotności organizmów, co przekłada się w pośredni sposób na wydajność.

Wybrane przykłady dowodzą występowania przejawów efektu hormetycznego w świecie roślin. Toksyczny dla organizmów żywych chlorek kadmu w dawce do 10 ppm<sup>1</sup> wyraźnie zwiększała wysokość roślin oraz plon suchej masy soi [Levings 1977]. Zwiększenie dawki do 20 ppm CdCl<sub>2</sub> doprowadziło do śmierci roślin. Kadm w niskich dawkach stymulował wzrost dębu, klonu i soi. [Xiong, Peng 2001, Chandra i in. 1993]. Obserwowano również stymulujące działanie na kukurydzę, ryż i rośliny korzeniowe niskich dawek glinu [Bennet, Breen 1991, Bennet i in. 1987, Hutchinson 1945], soli arsenu na wzrost i rozwój: grochu, rzodkwi, pszenicy i ziemniaków [Audus 1952, Thimann, Bonner 1949, Crafts, Rosenfels 1939]. Chrom, kobalt i miedź w niskich stężeniach miały stymulujący wpływ na wzrost i rozwój cebuli [Norwood i in. 2007, Dong-Hua, Wu-Sheng 1993]. Zaobserwowano stymulujące działanie soli rtęci na wzrost i rozwój ogórka [Cargnelutti i in. 2006]. W ostatnim okresie podjęto badania nad wyjaśnieniem mechanizmów stymulacji wzrostu i rozwoju roślin, które wywołuje kadm.

W naukowych bazach danych na świecie odnotowano ponad 3000 publikacji dotyczących wystąpienia efektu hormetycznego w świecie roślin [Calabrese, Blain 2009]. Również wiele tego typu prac znaleźć można w publikacjach dotyczących produkcji roślinnej w Polsce [Szarek 2009].

O ile przejawy występowania efektu hormetycznego są i były obserwowane, o tyle mechanizm jego działania nie jest do końca poznany. Jest pewne, że wzrost plonu następuje w wyniku zwiększenia się masy korzeniowej roślin, wydłużenia międzywęźli, zwiększenia ilości i masy nasion [Dong-Hua, Wu-Sheng 1993]. Jest to bezpośrednim następstwem zwiększenia się w komórkach roślinnych aktywności enzymów komórkowych, wzrostu zawartości substancji azotowych, ilości chlorofilu i karotenoidów. U podłoża takich reakcji leży prawdopodobnie stymulacja przez niewielkie ilości metali ciężkich łańcuchów DNA i RNA, jednak mechanizm ten nie jest jeszcze poznany [Royle i in. 1995]. Z drugiej strony należy pamiętać o tym, że gleba, jest siedliskiem wielu mikroorganizmów.

Zaobserwowano, że pod wpływem zwiększonej – do pewnego stopnia – zawartości metali ciężkich wzrasta ilość zasiedlających glebę dżdżownic [Bindesbl i in. 2007] i drobnoustrojów glebowych [Nowak i in. 2001], które w naturalny sposób ją użyźniały. Obserwowano również wzrost aktywności enzymatycznej gleby [Aina i in. 2007]. Należy również pamiętać o tym, że zawarte w glebie jony metali, dzięki istnieniu zjawiska hydratacji, zatrzymują wodę, dzięki temu jest ona przez dłuższy czas dostępna dla roślin i umożliwia lepsze znoszenie krótkotrwałych okresów suszy. Generalnie biorąc, stresory pobudzają do działania układy naprawy i podtrzymywania funkcji życiowych w komórkach, a efekt hiperkompensacji wywołuje na ogół ich mała dawka [Calabrese 2001].

## Wyniki

Analiza plonowania roślin pokazała na duże zróżnicowanie osiągniętych plonów w badanym okresie. Plony w 2006 i 2007 roku kształtowały się na poziomie ok. 29 j.zb z 1 ha, natomiast w 2008 r. – 43,6 j.zb. Tak duży wzrost wynikał z faktu, że w 2008 roku na analizowanych poletkach uprawiana była przede wszystkim kukurydza na kiszonkę. Duża ilość opadów w okresie wegetacyjnym tej rośliny wpłynęła korzystnie na jej plonowanie.

W 2008 roku zanotowano również znaczny wzrost wysokości nawożenia mineralnego, co związane było z uprawą kukurydzy, która może być intensywniej nawożona jak zboża. Z wyjątkiem 2008 r., nie zanotowano istotnego związku pomiędzy wysokością plonowaniem a wysokością nawoże-

wyniki zostały przeliczone na 1 ha powierzchni gruntów ornych.

## Efekt hormetyczny w badaniach naukowych

Koncepcja hormezy zakłada, że każda substancja toksyczna, w odpowiednio niskiej dawce – wywiera stymulujący wpływ na organizm istot żywych. Przejawia się to w poprawie

Tabela 2. Wartości nadwyżki bezpośredniej w produkcji roślinnej

Wyszczególnienie	Nadwyżka bezpośrednia [zł/ha] w latach		
	2006	2007	2008
Średnia	1556,98	1208,75	1784,31
Zakres	528-3919	393-2204	492-2967
SD	939,48	667,17	790,08
CV [%]	60,34	55,19	44,28

Źródło: opracowanie własne.

nia mineralnego w badanym okresie [Marcysiak, Szarek 2009]. Oznacza to, że kukurydza reagowała zwykłą plonu na zastosowane nawożenie. W związku z tym, że zróżnicowanie plonów było dość duże, to również wartość nadwyżki bezpośredniej, osiągniętej z jednostki powierzchni była zróżnicowana. Najwyższą jej wartość zanotowano w 2008 roku, kiedy wyniosła ona ok. 1800 zł/ha (tab. 2).

Analiza korelacji pokazała, że istnieją istotne zależności pomiędzy plonowaniem roślin i wartością nadwyżek bezpośrednich a zawartością w glebach metali ciężkich. Związku takiego nie zaobserwowano tylko w 2008 roku. Graficzny obraz omawianych zależności przedstawiono na rysunku 1. Dane zostały uzyskane za pomocą średniej ruchomej oraz przeskalowane tak, aby uwidocznić związek pomiędzy zmiennymi opisanymi za pomocą różnych skal (tysiący, setek i dziesiątek).

Analiza związków pomiędzy nawożeniem i zawartością metali ciężkich w glebach prowadzi do wielu spostrzeżeń. Przede wszystkim nie zaobserwowano powtarzalności wyników w poszczególnych latach w odniesieniu do wszystkich metali ciężkich. Jedynie w przypadku ołowiu taki związek miał miejsce (rys. 2).

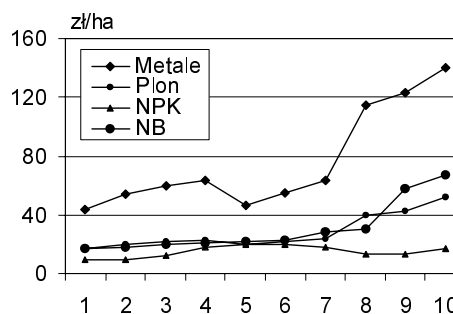
Z danych tam prezentowanych wynika, że pomiędzy nawożeniem a zawartością ołowiu w glebie zachodzi zjawisko komplementarności (rys. 2). W roku 2006-2008 związek ten zaobserwowano szczególnie w zakresie wysokich dawek nawożenia mineralnego. Oznacza to, że przy wyższej zawartości ołowiu w glebie osiągnięto istotnie wyższą wartość nadwyżki bezpośredniej, niż przy niskich zawartościach tego pierwiastka.

Analiza osiąganych nadwyżek w zależności od ilości zawartego w glebie kadmu charakteryzowała się podobnymi, jak w przypadku ołowiu, prawidłowościami w latach 2006-2007 (rys. 3). Warto przy tym zauważyć, że gleby zawierające w swym składzie wyższe ilości kadmu oraz słabo lub wcale nie nawożone, charakteryzowały się wyższą produktywnością, niż gleby o niskiej zawartości tego pierwiastka. Odmiennie, jak w latach 2006-2007, były tendencje w 2008 roku. Zamiast zjawiska komplementarności zaobserwowano zjawisko konkurencyjności. Na glebach o wyższej zawartości kadmu, nawożonych wyższymi dawkami nawozów mineralnych, wartość nadwyżki bezpośredniej zmniejszała się. Była ona najwyższa na glebach nie nawożonych, zawierających w swoim składzie wyższe ilości tego pierwiastka.

W przypadku pozostałych pierwiastków, zaobserwowane tendencje nie były tak jednoznaczne, choć w obrębie poszczególnych lat można było zauważyć prawidłowości, zgodne co do charakteru z opisanymi powyżej.

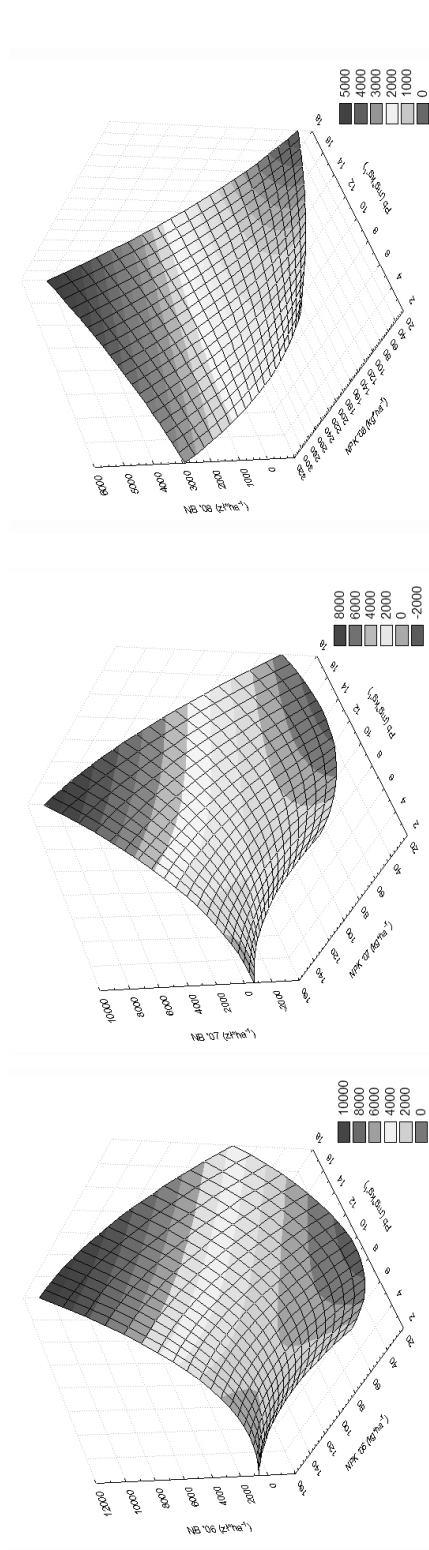
Nie zaobserwowano natomiast zjawiska załamania się plonów, związanego z osiągnięciem progu ekonomicznego hormezy. Należy jednak pamiętać, że badaniami objęto gleby zawierające w swym składzie niższe zawartości metali ciężkich, niż wynosi średnia ich zawartość w Polsce.

Rozbieżność uzyskanych wyników można wytłumaczyć zróżnicowaną strukturą produkcji w poszczególnych latach badań. W latach 2006-2007 udział zbóż w strukturze zasiewów kształtował się na poziomie powyżej 80%. Daje to podstawę do stwierdzenia, że zróżnicowanie osiągniętych wyników było z pewnością spowodowane gatunkiem uprawianych roślin.

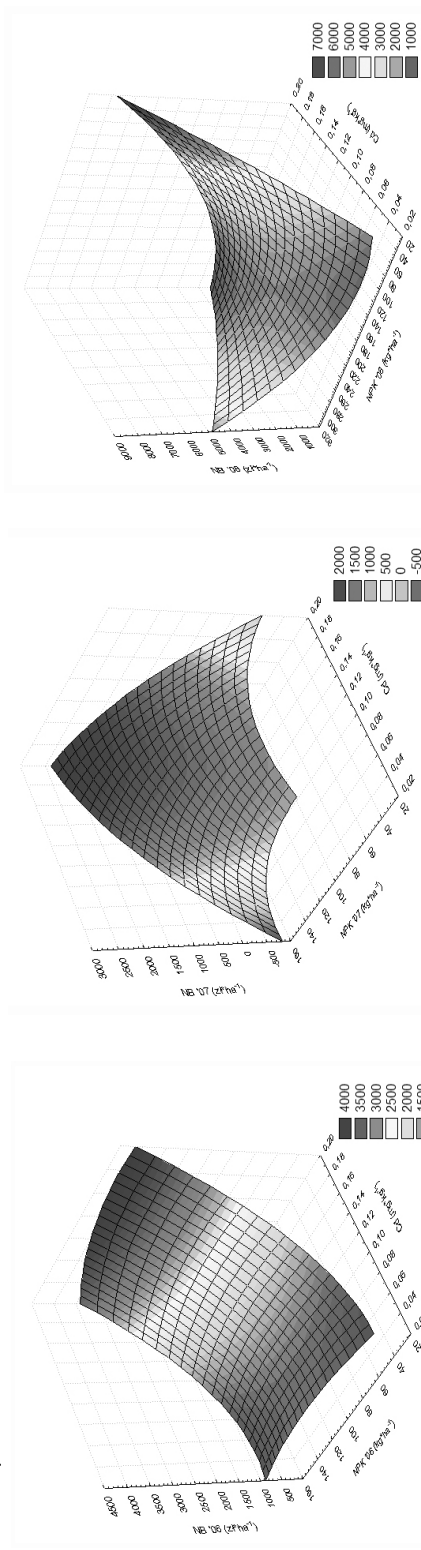


Rysunek 1. Średnie wartości nadwyżki bezpośredniej dla lat 2006-2008 (NB – zł/ha), plonu roślin (jz/ha), wysokości nawożenia mineralnego (NPK kg/ha) i zawartości metali ciężkich (mg/kg) w glebach badanych gospodarstw. Dane przeskalowane, uzyskane za pomocą średniej ruchomej.

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 2. Wartości nadwyżek bezpośrednich uzyskane z jednostki powierzchni w latach 2006-2008 w zależności od wysokości nawożenia mineralnego i zawartości w glebie ołowiu  
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 3. Wartości nadwyżek bezpośrednich uzyskane z jednostki powierzchni w latach 2006-2008 w zależności od wysokości nawożenia mineralnego i zawartości w glebie kadmu  
Źródło: opracowanie własne.

## Podsumowanie

Analiza materiału badawczego pozwoliła na negatywne zweryfikowanie postawionej hipotezy. Wykazano, że na glebach o wyższej zawartości metali ciężkich nawożonych wyższymi dawkami nawozów mineralnych, efektywność produkcji była wyższa, niż na glebach, na których poziom nawożenia był niższy. To wynika z faktu, że badaniami objęto gleby, zawierające w swym składzie niższe zawartości metali ciężkich, niż wynosi ich średnia zawartość w glebach użytków rolnych Polski.

Analiza materiału badawczego prowadzi do wyciągnięcia następujących wniosków szczegółowych:

1. Pomiędzy nawożeniem mineralnym a zawartymi w glebie metalami ciężkimi może zachodzić zjawisko komplementarności, polegające na zwiększaniu się plonów w miarę wzrostu dawek nawożenia i zawartości tych metali. Zjawisko to zachodzi w zakresie niskich zawartości metali ciężkich w glebach oraz wyższego poziomu nawożenia mineralnego.
2. Komplementarność jest cechą gatunkową, co oznacza, że różne rośliny reagują odmiennie na nawożenie i obecność w glebach zróżnicowanych ilości metali. W świetle analizy literatury przedmiotu, wniosek taki można rozszerzyć również o stwierdzenie, że komplementarność w tym zakresie jest cechą odmianową.
3. Zwiększona zawartość niektórych metali ciężkich w glebach, szczególnie takich, jak: kadm, ma bardzo duży wpływ na osiąganą produktywność. Niektóre rośliny (w tym przypadku kukurydzy) reagowały spadkiem plonu w warunkach wysokiego nawożenia i podwyższonej zawartości tego pierwiastka w glebie.

W świetle uzyskanych wyników można stwierdzić, że wzrost zawartości metali ciężkich w glebach może mieć dobroczynny wpływ na plonowanie i osiąganą efektywność produkcji. W tej sytuacji teza o szkodliwości zawartych w glebach metali ciężkich nie jest do końca prawdziwa. Dzięki zaakceptowaniu tego faktu, istnieje możliwość optymalizacji wielkości produkcji pod kątem maksymalizacji dochodu, dzięki ograniczeniu kosztów nawożenia mineralnego tam, gdzie nie przynosi to żadnych efektów. Takie postawienie sprawy ma również znaczenie w ochronie środowiska naturalnego. Dzięki wyeliminowaniu nieefektywnych dawek nawożenia, rolnictwo nie zanieczyszcza wód gruntowych niewykorzystanymi przez rośliny składnikami azotowymi, fosforowymi i potasowymi. Szacuje się, że Polska odprowadza do Morza Bałtyckiego 250 tys. t zanieczyszczeń organicznych rocznie. Dzięki zaakceptowaniu zjawiska hormezy można zmienić ten niekorzystny stan rzeczy i wydatnie przyczynić się do poprawy stanu środowiska naturalnego.

## Literatura

- Aina R., Labra M., Fumagalli P., Vannini C., Marsoni M., Cucchi U., Bracale M., Sgorbati S., Citterio S. 2007: Thiol-peptide level and proteomic changes in response to cadmium toxicity in *Oryza sativa* L. roots. *Environmental and Experimental Botany*, nr 59, s. 381-392.
- Audus L.J. 1952: The time factor in studies of growth inhibition in excised organ sections. *J. Exper. Bot.*, nr 3, 375-392.
- Bennet R.J., Breen C.M. 1991: The recovery of the roots of *zea mays* L. from various aluminum treatments, toward elucidating the regulatory processes that underlie root growth control. *Environ. Exper. Botany*, nr 31, s. 153-163.
- Bennet R.J., Breen C.M., Fey M.V. 1987: The effects of aluminum on root cap function and root development in *Zea mays* L. *Environ. Exper. Botany*, nr 27, s. 91-104.
- Bindesbřl A., Bayley M., Damgaard C., Holmstrup M. 2007: Life-history traits and population growth rate in the laboratory of the earthworm *Dendrobaena octaedra* cultured in copper-contaminated soil. *Applied Soil Ecology*, nr 35, s. 46-56.
- Calabrese E.J. 2001: Overcompensation stimulation: A mechanism for hormetic effect. *Crit Rev in Toxicology*, nr 31(4/5), s. 425-470.
- Calabrese E.J., Baldwin L.A. 1997: The dose determines the stimulation (and poison). Development of a Chemical Hormesis Database. *Int. J. of Toxicol.*, nr 16, s. 545-559.
- Calabrese E.J., Blain R.B. 2009: Hormesis and plant biology. *Environmental Pollution*, nr 157, s. 42-48.
- Cargnelutti D., Tabaldi A.L., Spanevello M.R., Jucoski O.G., Battisti V., Redin M., Blanco Linares C.E., Dressler V.L., Moraes M., Flores E., Teixeira Nicoloso F., Morsch V.M., Chitolina Schetinger M.R. 2006: Mercury toxicity induces oxidative stress in growing cucumber seedlings. *Chemosphere*, nr 65, s. 999-1006.
- Chandra P., Tripathi R.D., Rai U.N., Sinha S., Garg P. 1993: Biomonitoring and amelioration of nonpoint source pollution in some aquatic bodies. *Wat. Sci. Technol.*, nr 28, s. 323-326.
- Crafts A.S., Rosenfels R.S. 1939: Toxicity studies with arsenic in 80 California soils. *Hilgardia*, nr 12, s. 177-200.
- Dong-Hua L., Wu-Sheng J. 1993: Effects of Cr<sup>3+</sup> on root growth and cell division of *Allium cepa*. *Chinese J. Bot.*, nr 5, s. 34-40.
- Levings M.K. 1977: Effects of cadmium chloride on growth and pigments in *Glycine max* L., *Quercus rubra* L., *Acer saccharinum* L., and *Cucumis stauvus* L. Masters Degree. Purdue University, Indiana, ss. 73.
- Marcysiak A., Szarek S. 2009: Efektywność produkcji roślinnej na glebach o zróżnicowanej zawartości metali ciężkich. *Acta Scientiarum Polonorum*, nr 8, s. 155-163.

- Mei-Qing Liu, Junta Yanai, Rong-Feng Jiang, Fusuo Zhang, Steve P. McGrath, Fang-Jie Zhao** 2008: Does cadmium play a physiological role in the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*? *Chemosphere*, nr 71, s. 1276-1283.
- Norwood W.P., Borgmann U., Dixon D.G.** 2007: Chronic toxicity of arsenic, cobalt, chromium and manganese *Hyalella azteca* in relation to exposure and bioaccumulation. *Environmental Pollution*, nr 147, s. 262-272.
- Nowak A., Przybulewska K., Szopa E., Stacewicz A.** 2001: Wpływ metali ciężkich (Hg, Cd, Cu, Pb) na wzrost i aktywność enzymatyczną bakterii glebowych. *Zesz. Nauk. AR Szczecin, Agricultura*, z. 221, s. 165-174.
- Royle A., Rai U.N., Gupta M., Tripathi R.D., Chandra P.** 1995: Cadmium regulated nitrate reductase activity in *Hydrilla verticillata*. *Water, Air and Soil Pollution*, vol. 106, s. 174.
- Southam C.M., Ehrlich J.** 1943: Effects of extract of western red cedar heartwood on certain wood-decaying fungi in culture. *Phytopathology*, nr 33, s. 517-524.
- Stebbing A.R.D.** 2003: A mechanism for hormesis – A problem in the wrong discipline. *Critical Reviews in Toxicology*, nr 33(3/4), s. 463-467.
- Stebbing A.R.D.** 1982: Hormesis – the stimulation of growth by low level of inhibitors. *Total Environment*, nr 22, s. 213-234.
- Szarek S.** 2005a: Deficiencies in the law of diminishing returns. Part I EJPAU, series *Economics*, vol. 8, iss. 3.
- Szarek S.** 2005b: Use of concept of hormesis phenomenon to explain the law of diminishing returns. Part II. EJPAU, series *Economics*, vol. 8, iss. 4.
- Szarek S.** 2006: Możliwości wynikające z zastosowania efektu hormetycznego do wyjaśnienia prawa malejącej wydajności. *Zag. Ekon. Rol.*, nr 3, s. 29-46.
- Szarek S.** 2009: Efekt hormetyczny a efektywność produkcji roślinnej. *Journal of Agribusiness and Rural Development*, z. 2(12), s. 209-219.
- Thimann K.V., Bonner W.D.J.** 1949: Experiments on the growth and inhibition of isolated plant. Part II: The action of several enzyme inhibitors on the growth of the *Avena coleoptile* and on *Pisum internodes*. *J. Exp. Bot.*, nr 36, s. 214-221.
- Xiong X.T., Peng Y.H.** 2001: Response of pollen germination and tube growth to cadmium with special reference to low concentration exposure. *Ecotoxicol. Degree. Purdue University, Indiana*, ss. 73.

### Summary

*The paper aims to analyze the effectiveness of mineral fertilization on soils containing different level of heavy metals. It argues that on soils containing high level of heavy metals fertilized by high doses of fertilizers the production effectiveness was higher.*

### Adres do korespondencji:

dr Stanisław Szarek  
Akademia Podlaska w Siedlcach  
08-110 Siedlce  
ul. B. Prusa 12  
e-mail: szarek@ap.siedlce.pl