

EFEKTYWNOŚĆ PRODUKCJI ROŚLINNEJ NA GLEBACH O ZRÓŻNICOWANEJ ZAWARTOŚCI METALI CIĘŻKICH

Adam Marcysiak, Stanisław Szarek

Akademia Podlaska w Siedlcach

Streszczenie. Na glebach o większej zawartości metali ciężkich plony w produkcji roślinnej były większe niż na glebach o małej zawartości tych metali. Wyjaśnienie tego zjawiska oparto na koncepcji efektu hormetycznego. Większa zawartość metali ciężkich w glebach badanych gospodarstw może mieć wpływ na poziom produktywności i efektywności gospodarowania.

Słowa kluczowe: efekt hormetyczny, plonowanie roślin, efektywność produkcji

WSTĘP

Ekonomika rolnictwa wskazuje na dwie grupy czynników mających wpływ na kształtowanie się efektywności: niezależne i zależne od gospodarującego. Nauka poznała dość dokładnie pierwszą grupę czynników, do których zalicza się glebę i szerokie spektrum warunków klimatycznych. W świetle ostatnich badań wydaje się, że pomijany jest jeden z ważnych czynników, który może mieć wpływ na osiąganą efektywność. W pierwszym rzędzie może on wpływać na wzrost plonowania roślin. Możliwe jest również, że ma wpływ na obniżenie kosztów produkcji, a w szczególności kosztów nawożenia i chemicznej ochrony roślin.

Czynnikami tym jest poziom zawartych w glebie metali ciężkich, takich jak cynk, ołów, kadm, miedź i inne pierwiastki. Powszechnie uważa się, że nie powodują one innych niż szkodliwe skutków dla zdrowia człowieka. Gromadzone są w komórkach roślinnych i w takiej postaci trafiają do produkowanej żywności. Czy rzeczywiście należy się ich obawiać? Takie podejście do sprawy wydaje się być sprzeczne z teorią ewolucji. Wszystkie bez wyjątku organizmy roślinne wzrastały w obecności uznawanych za szkodliwe metali ciężkich. W toku trwającej wiele milionów lat ewolucji rośliny

musiały nauczyć się tolerowania ich obecności. Być może nauka nie odkryła roli większości tych substancji we wzroście i rozwoju organizmów. Dla przykładu cynk i miedź, do niedawna uznawane za szkodliwe, uznawane są obecnie za konieczne – w małych ilościach – do życia roślin.

CEL PRACY, MATERIAŁ I METODY BADAWCZE

Celem badań było określenie wielkości plonowania roślin na glebach o zróżnicowanej zawartości metali ciężkich. Przyjęto założenie, że na glebach o zwiększonej zawartości metali ciężkich wystąpi efekt hormetyczny, co oznacza, że na glebach tych plonowanie będzie większe, niż na glebach o małej zawartości metali ciężkich.

Do badań wytypowano 10 działek rolnych, położonych w powiecie sokołowskim (gminy Jabłonna Lacka, Miedzna i Bielany). Działki były zlokalizowane 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 i Rozwoju Wsi 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⁻¹ (tab. 1).

Plon roślin z każdego pola przeliczono na jednostki zbożowe, przy zastosowaniu przeliczników zaproponowanych przez Fereńca [1999].

Tabela 1. Zawartość metali ciężkich w badanych glebach

Table 1. Heavy metal content in soil

| Wyszczególnienie Specification | Zawartość metali (mg·kg ⁻¹) Heavy metal content (mg·kg ⁻¹) | | | | | |
|--------------------------------------|---|--------------|----------------|------------|------------|----------------|
| | Cd Cadmium | Cu Cuprum | Cr Chromium | Pb Lead | Zn Zinc | Razem Total |
| Średnia/Mean | 0,08 | 1,71 | 3,67 | 6,93 | 20,97 | 33,36 |
| Zakres/Range | 0,05–0,19 | 0,15–4,1 | 1,7–9,9 | 3,5–16 | 7,0–40 | 14,2–70,7 |
| SD/Standard deviation | 0,05 | 1,33 | 2,97 | 3,85 | 14,85 | 21,66 |
| CV (%) (Coefficient of variation) | 62,05 | 77,63 | 81,02 | 55,48 | 70,84 | 64,94 |

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Authors' investigations.

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.

Przeprowadzono analizę korelacji między plonowaniem roślin a zawartością w glebie metali ciężkich oraz wysokością nawożenia mineralnego. Analizę statystyczną wykonano przy użyciu programu Statistica.

EFEKT HORMETYCZNY W BADANIACH NAUKOWYCH

Pionierem badań nad dobroczynnym dla organizmów żywych wpływem niskich dawek substancji toksycznych był Rudolf Virchow [Henschler 2006], który badał wpływ NaOH na przepuszczalność błon komórkowych. Jego pierwsze prace zostały opublikowane już w połowie XIX wieku.

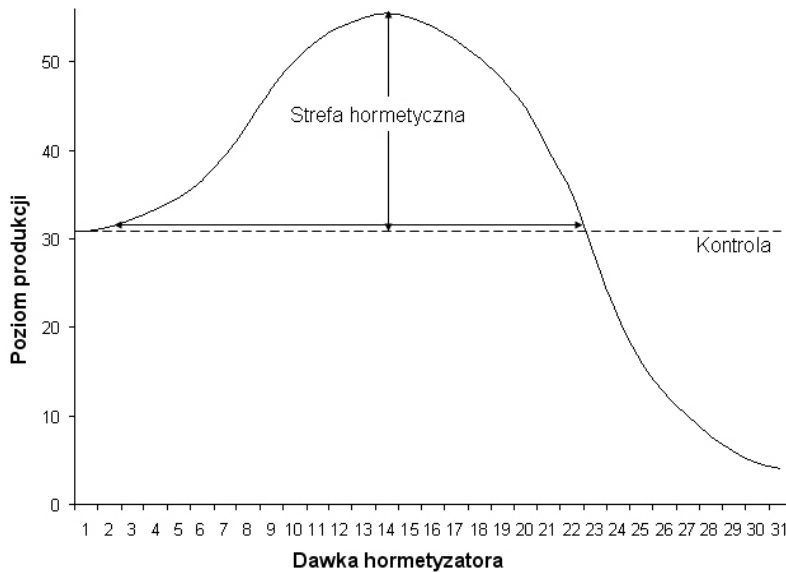
Dostępne dane pokazują, że już na początku XX wieku obserwowano stymulujące działanie toksycznego arsenu na rozwój ziemniaków [Stewart i Smith 1922] oraz arsenianu sodu na wzrost i przyrosty świeżej masy owsa [Crafts i Rosenfels 1939]. W 1926 r. C. Southam i J. Ehrlich zaobserwowali, że użyty do doświadczeń ekstrakt z twardego drewna cedrowego miał działanie hamujące wzrost grzybów. Jednocześnie ten sam ekstrakt – ale w małych dawkach – te same grzyby pobudzał do wzrostu. Opublikowane wyniki ich badań zawierały słowo „hormesis”, oznaczające stymulujące działanie na organizmy żywe małych dawek substancji, które w większych dawkach są inhibitorami wzrostu i rozwoju [Southam i Ehrlich 1943].

Od tego czasu w naukowych bazach danych na świecie pojawiło się wiele prac opisujących występowanie efektu hormetycznego [Calabrese 2003, Calabrese i Baldwin 1997, 2001]. W naszym kraju pionierem badań nad zjawiskami hormezy był Zbigniew Jaworowski, który zajmował się badaniem dobroczynnego wpływu niskich dawek promieniowania jonizującego na rośliny, zwierzęta i ludzi [Jaworowski 1993, 1997].

Koncepcja hormezy zakłada, że każda substancja toksyczna, w odpowiednio niskiej dawce, wywiera stymulujący wpływ na organizm istot żywych. Przejawia się to w poprawie zdrowotności i zdolności do rozmnażania oraz w zwiększeniu odporności na choroby [Stebbing 1982; 2003]. Obserwuje się dwójaki 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. Graficznym obrazem zależności jest krzywa w kształcie litery U, przedstawiona na rysunku 1.

Wybrane przykłady dowodzą występowania przejawów efektu hormetycznego w świecie roślin. Toksyczny dla organizmów żywych chlorek kadmu w dawce do 10 ppm¹ wyraźnie zwiększał wysokość roślin oraz plon suchej masy soi [Levings 1977]. Zwiększenie dawki do 20 ppm CdCl₂ doprowadziło do śmierci roślin. Kadm w małych dawkach stymulował wzrost dębu, klonu i soi [Xiong i Peng 2001, Royle i in. 1998, Chandra i in. 1993]. Obserwowano również stymulujące działanie na kukurydzę, ryż i rośliny korzeniowe małych dawek glinu [Bennet i Breen 1991, Bennet i in. 1978, Hutchinson 1945], soli arsenu na wzrost i rozwój grochu, rzodkwi, pszenicy i ziemniaków [Audus 1952, Thimann i Bonner 1949, Crafts i Rosenfels 1939]. Chrom, kobalt i miedź w niskich stężeniach miały stymulujący wpływ na wzrost i rozwój cebuli [Norwood i in. 2007, Dong-Hua i Wu-Sheng 1993]. Zaobserwowano

¹ 1 ppm odpowiada dawce 1 mg·kg⁻¹



Rys. 1. Krzywa odwróconego „U” obrazująca efekt hormetyczny

Fig. 1. U-curve of hormesis

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Authors' calculations.

stymulujące działanie na wzrost i rozwój ogórka soli rtęci [Cargnelutti i in. 2006]. Ostatnio podjęto badania nad wyjaśnieniem mechanizmów stymulacji wzrostu i rozwoju roślin, które wywołuje kadm [Mei i in., 2008, Gimbert i in. 2008].

MECHANIZM HORMEZY

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 międzywęzła, zwiększenia ilości i masy nasion [Kovalchuk i in. 2003, Vysotskii i in., 2002, Dong-Hua i 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 liczba zasiedlających glebę dżdżownic [Bindesbøl i in. 2007] oraz drobnoustrojów glebowych [Nowak i in. 2001], które w naturalny sposób ją użyźniają. 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 czemu 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 2001b].

Jest więc rzeczą oczywistą, że wystąpienie efektu hormetycznego może mieć wpływ na osiąganą w gospodarstwie efektywność, co zostało szczegółowo omówione przez Szarka [2005a; 2005b; 2006].

WYNIKI

Analiza plonowania roślin wykazała dość duże zróżnicowanie osiągniętych plonów w badanym okresie. Plony w latach 2006 i 2007 kształtowały się na poziomie około 29 j.z. z 1 ha, a w 2008 r. wyniosły 43,6 j.z. Tak duży wzrost wynikał z faktu, że w 2008 r. na analizowanych poletkach uprawiana była przede wszystkim kukurydza na kiszonkę. Duża ilość opadów w okresie wegetacyjnym tej rośliny wpłynęła korzystnie na plonowanie, co pokazano w tabeli 2.

Tabela 2. Plonowanie roślin w latach 2006–2008

Table 2. Plant yield in 2006–2008

| Wyszczególnienie Specification | Plony (jz·ha ⁻¹) Yield in cereal unit | | | Nawożenie NPK (kg·ha ⁻¹) Fertilization | | |
|--------------------------------------|--|-----------|-------|---|--------|--------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2006 | 2007 | 2008 |
| Średnia/Mean | 29,02 | 28,71 | 43,58 | 92,24 | 90,60 | 131,63 |
| Zakres/Range | 10–67 | 11,4–51,3 | 15–75 | 36–153 | 40–150 | 35–300 |
| SD/Standard deviation | 15,59 | 13,56 | 17,66 | 39,82 | 38,71 | 73,48 |
| CV (%) (Coefficient of variation) | 53,70 | 47,23 | 40,51 | 43,17 | 42,72 | 55,82 |

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Authors' calculations.

W 2008 r. zanotowano również znaczny wzrost wysokości nawożenia mineralnego, co związane było z uprawą kukurydzy, która może być nawożona intensywniej niż zboża. Oprócz tego roku nie zanotowano istotnego związku pomiędzy wysokością plonowaniem a wysokością nawożenia mineralnego w badanym okresie. Oznacza to, że kukurydza reagowała zwiększeniem plonu na zastosowane nawożenie. Godny podkreślenia jest fakt, że odnotowano istotne związki między wysokością plonowania a zawartością w glebach metali ciężkich (tab. 3). Warto również odnotować fakt, że wartości współczynników korelacji między nawożeniem a wartością nadwyżki bezpośredniej miały w 2008 r. wartość ujemną. Może to oznaczać, że nawożenie mineralne nie było racjonalnie stosowane.

Tabela 3. Wartości współczynników korelacji rang Spearmana pomiędzy plonowaniem i wartością nadwyżki bezpośredniej a zawartością metali ciężkich w glebach i nawożeniem mineralnym w badanych gospodarstwach

Table 3. Spearman coefficient of correlation value between plant yield and gross margin value versus heavy metal content in soils and mineral fertilization

| Lata Years | Metale ciężkie Heavy metals | | | | | | Nawożenie mineralne Mineral fertilization | | |
|--|--------------------------------|-------|--------|--------|-------|--------|--|--------|-------|
| | Cd | Cu | Cr | Pb | Zn | Razem | 2006 | 2007 | 2008 |
| Plonowanie roślin (jz·ha ⁻¹)/Plant yield | | | | | | | | | |
| 2006 | 0,73* | 0,71* | 0,63* | 0,528 | 0,70* | 0,67* | 0,126 | 0,168 | 0,63* |
| 2007 | 0,376 | 0,540 | 0,340 | 0,194 | 0,62* | 0,568 | 0,217 | 0,161 | 0,028 |
| 2008 | 0,483 | 0,392 | -0,025 | -0,081 | 0,194 | 0,081 | -0,098 | -0,084 | 0,343 |
| Nadwyżka bezpośrednia (zł·ha ⁻¹) /Gross margin | | | | | | | | | |
| 2006 | 0,71* | 0,68* | 0,62* | 0,522 | 0,67* | 0,64* | 0,116 | 0,158 | 0,62* |
| 2007 | 0,483 | 0,63* | 0,304 | 0,215 | 0,69* | 0,575 | 0,032 | -0,011 | 0,091 |
| 2008 | 0,344 | 0,261 | -0,229 | -0,190 | 0,035 | -0,106 | -0,245 | -0,259 | 0,189 |

* Zależność istotna dla p = 0,01/Significant for p = 0,01

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Authors' calculations.

W związku z tym, że zróżnicowanie plonów było dość duże, to również wartość nadwyżki bezpośredniej była zróżnicowana. Najwyższą jej wartość zanotowano w 2008 r., kiedy wyniosła ona prawie 1800 zł na 1 ha (tab. 4).

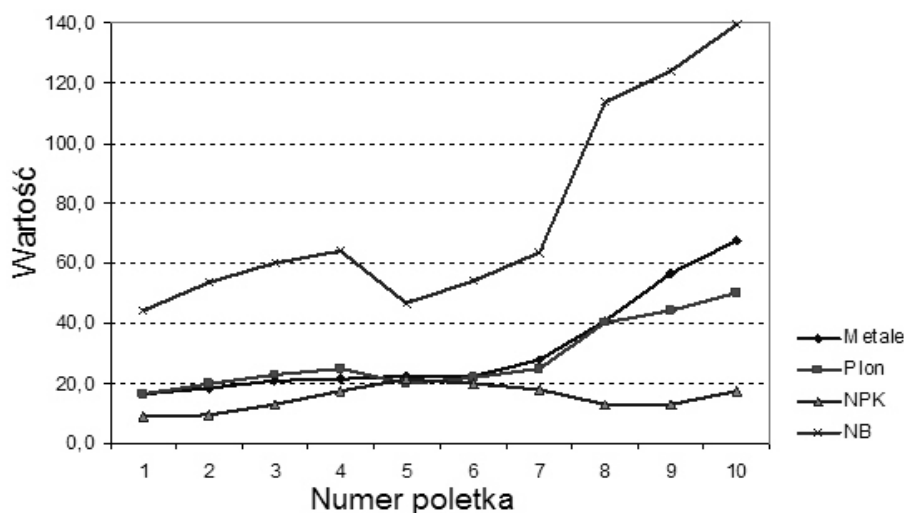
Tabela 4. Wartości nadwyżki bezpośredniej w produkcji roślinnej (zł·ha⁻¹)

Table 4. Gross margin value in crop production

| Wyszczególnienie | Lata | | |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|
| | 2006 | 2007 | 2008 |
| Średnia/Mean | 1556,98 | 1208,75 | 1784,31 |
| Zakres/Range | 528–3919 | 393–2204 | 492–2967 |
| SD/Standard deviation | 939,48 | 667,17 | 790,08 |
| CV (%) (Coefficient of variation) | 60,34 | 55,19 | 44,28 |

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Authors' calculations.

Analiza korelacji pokazała, że istnieją istotne zależności między plonowaniem roślin i wartością nadwyżek bezpośrednich osiąganych w ich produkcji a zawartością w glebach metali ciężkich. Związku takiego nie zaobserwowano tylko w 2008 r.. Graficzny obraz omawianych zależności przedstawiono na rysunku 2. Dane zostały przeskalowane tak, aby uchwycić związek między zmiennymi opisanymi za pomocą różnych skal – tysięcy z setkami i dziesiątkami.



Rys. 2. Średnia dla lat 2006–2008 wartości nadwyżki bezpośredniej (NB – zł·ha⁻¹), plonu roślin (jz·ha⁻¹), wysokości nawożenia mineralnego (NPK – kg·ha⁻¹) i zawartości metali ciężkich (mg·kg⁻¹) w glebach badanych gospodarstw. Dane przeskalowane

Fig. 2. Average gross margin value at 2006–2008 years, plant yield, mineral fertilization and heavy metal content at investigation farms

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own calculations.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza materiału badawczego prowadzi do wniosków, które mogą być trudne do zaakceptowania. Na glebach o większej zawartości metali ciężkich plony w produkcji roślinnej były większe niż na glebach o małej zawartości tych metali. Wyjaśnienie tego zjawiska nie nastęrczy trudności, jeśli zgodzić się z wystąpieniem w tym przypadku efektu hormetycznego. Większa zawartość metali ciężkich w glebach badanych gospodarstw jako naturalnych stresorów stymuluje układ odpornościowy roślin, przez co stają się one mniej narażone na choroby i wpływ czynników zewnętrznych. W efekcie zwiększają masę jednostkową i wydają więcej materiału genetycznego w postaci nasion. Prowadzi to w rezultacie do wzrostu produktywności i efektywności.

W zaistniałej sytuacji należałoby przeprowadzić szczegółowe badania nad rodzajem interakcji między zawartymi w glebie metalami ciężkimi a nawożeniem mineralnym. W świetle aktualnych danych te dwa czynniki mogą wykazywać działanie komplementarne w stosunku do plonu. Jednak po przekroczeniu określonej zawartości metali ciężkich w glebach czy też po zastosowaniu określonego poziomu nawożenia może dochodzić do zjawiska odwrotnego. W przypadku większego nawożenia na glebach zawierających więcej metali ciężkich może się okazać, że nie przynosi ono oczekiwanych efektów w postaci zwiększenia plonu.

Jest rzeczą oczywistą, że reakcja na te dwa czynniki jest cechą specyficzną dla danej rośliny. Co więcej – można przypuszczać, że jest to również cecha odmianowa. W tej sytuacji należy dość poważnie potraktować możliwość uprawy roślin lub hodowli odmian tolerujących zwiększoną ilość metali ciężkich w glebie i korzystnie reagujących na nawożenie mineralne.

PIŚMIENNICTWO

- Aina R., Labra M. i in., 2007. Thiol-peptide level and proteomic changes in response to cadmium toxicity in *Oryza sativa* L. roots. *Environ. Exper. Botany* 59, 381–392.
- Audus L.J., 1952. The time factor in studies of growth inhibition in excised organ sections. *J. Exper. Bot.* 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* 31, 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* 27, 91–104.
- Bindesbøl A.-M., Bayley M., i in., 2007. Life-history traits and population growth rate in the laboratory of the earthworm *Dendrobaena octaedra* cultured in copper-contaminated soil. *Applied Soil Ecology* 35, 46–56.
- Calabrese E.J., 2001b. Overcompensation stimulation: A mechanism for hormetic effect. *Crit. Rev. in Toxicology* 31(4&5), 425–470.
- Calabrese E.J., Baldwin L.A., 2003. Ethanol and hormesis. *Crit. Rev. in Toxicology* 33(3&4), 407–424.
- Calabrese E.J., Baldwin L.A., 1997. The Dose determines the Stimulation (and Poison): Development of a Chemical Hormesis Database. *Int. J. of Toxic.* 16, 545–559.
- Cargnelutti D., Almeri Tabaldi L. i in., 2006. Mercury toxicity induces oxidative stress in growing cucumber seedlings. *Chemosphere* 65, 999–1006.
- Chandra P., Tripathi R.D. i in., 1993. Biomonitoring and amelioration of nonpoint source pollution in some aquatic bodies. *Wat. Sci. Technol.*, 28, 323–326.
- Crafts A.S., Rosenfels R.S., 1939. Toxicity studies with arsenic in 80 California soils. *Hilgardia*, 12, 177–200.
- Dong-Hua L., Wu-Sheng J., 1993. Effects of Cr³⁺ on root growth and cell division of *Allium cepa*. *Chinese J. Bot.* 5, 34–40.
- Hutchinson G.E., 1945. Aluminum in soils, plants, and animals. *Soil Sci.* 60, 29–40.
- 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.
- Mei-Qing Liu, Junta Yanai i in., 2008. Does cadmium play a physiological role in the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*? *Chemosphere* 71, 1276–1283.
- Norwood W.P., Borgmann U., Dixon D.G., 2007. Chronic toxicity of arsenic, cobalt, chromium and manganese *Hyaella azteca* in relation to exposure and bioaccumulation. *Environmental Pollution* 147, 262–272.
- Nowak A., Przybulewska K. i in., 2001. Wpływ metali ciężkich (Hg, Cd, Cu, Pb) na wzrost i aktywność enzymatyczną bakterii glebowych. *Zeszyty Naukowe AR Szczecin, Agricultura*, z. 221, 165–174.
- Royle A., Rai T. i in., 1995. Cadmium regulated nitrate reductase activity in *Hydrilla verticillata*. *Water, Air and Soil Pollution*, vol. 106, 174.

- Southam C.M., Ehrlich J., 1943. Effects of extract of western red cedar heartwood on certain wood-decaying fungi in culture. *Phytopathology* 33, 517–524.
- Stebbing A.R.D., 2003. A Mechanism for Hormesis – A Problem in the Wrong Discipline. *Crit. Rev. in Toxicology* 33(3&4), 463–467.
- Stebbing A.R.D., 1982. Hormesis – the stimulation of growth by low level of inhibitors. *Total Environment* 22, 213–234.
- Stewart J., Smith E.S., 1922. Some relations of arsenic to plant growth: Part 2. *Soil Science* 14, 119–126.
- Szarek S., 2005a. Deficiencies in the law of diminishing returns. Part I. *EJPAU, Series Economics, Volume 8, iss. 3*.
- Szarek S., 2005b. Use of concept of hormesis phenomenon to explain the law of diminishing returns. Part II. *EJPAU, Series Economics, Volume 8, iss. 4*.
- Szarek S., 2006. Możliwości wynikające z zastosowania efektu hormetycznego do wyjaśnienia prawa malejącej wydajności. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej* nr 3, 29–46.
- Thimann K.V., Bonner W.D. Jr., 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.* 36, 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*.

EFFECTIVENESS OF PRODUCTION IN SOIL CONTAIN DIFFERENT OF HEAVY METAL LEVEL

Abstract. The crops of plant production on soil with higher content of heavy metals were higher than on soil with low content of these metals. The explanation of this phenomena was based of hormesis effect concept. According to this higher content of heavy metals in the soil of the investigated farms may influence on the differentiation of their farming productivity and effectiveness' level.

Key words: hormesis, plant yield, effectiveness of production

Zaakceptowano do druku – Accepted for print 05.05.2009