

Jarosław CIURA, Małgorzata PONIEDZIAŁEK

Akademia Rolnicza, Katedra Warzywnictwa z Ekonomiką Ogrodnictwa
31-425 Kraków, Al. 29 Listopada 54

MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA ROŚLIN WARZYWNYCH DO OCZYSZCZANIA GLEBY Z METALI CIĘŻKICH

Streszczenie. W pracy badano skuteczność różnych gatunków warzyw w procesie oczyszczania gleby z metali ciężkich. Najwięcej kadmu, chromu, manganu i ołowiu zgromadziła w swoich tkankach cukinia, natomiast najmniej fasola. Największe zmiany w zawartości tych pierwiastków zaobserwowano w warstwie 0-20 cm i 20-40 cm. Na pozostałych głębokościach były one niewielkie.

THE POSSIBILITIES OF HEAVY METALS REMOVING FROM CONTAMINATED SOILS BY SOME SPECIES OF VEGETABLES

Summary. The effect of different species of vegetables in the process of decontamination of the soil from heavy metals was investigated. The highest accumulation of cadmium, chromium, manganese and lead was evidenced in the biomass of zucchini, the lowest – the french bean. The most significant variation in the content of these elements were observed in the surface soil horizon (0-20 cm) and in the depth of 20-40 cm. Differences were statistically non significant in other layers.

WSTĘP

Intensywny rozwój przemysłu, jaki obserwujemy w ostatnich kilkunastu latach, przyczynił się do zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego. Do najbardziej niebezpiecznych zanieczyszczeń zaliczyć można metale ciężkie. Ich źródłem dla roślin uprawnych są zarówno pyły opadające z atmosfery, jak i skażona gleba [5].

Dużym ośrodkiem produkcji ogrodniczej, a szczególnie warzywniczej jest dawne województwo krakowskie, wchodzące obecnie w skład województwa małopolskiego. Rejon ten należy do znacznie zurbanizowanych i uprzemysłowionych obszarów Polski. Głównymi źródłami zanieczyszczeń powietrza są zakłady przemysłowe i przedsiębiorstwa energetyki ciepłej zlokalizowane głównie w aglomeracjach miejskich Krakowa, Tarnowa, Nowego Sącza oraz powiatach zachodniej Małopolski. Szczególnie uciążliwe dla środowiska naturalnego są następujące zakłady przemysłowe: Huta im. Tadeusza Sendzimira, Elektrownia Skawina, Elektrociepłownia Kraków [13]. W Krakowie i okolicach dominują w

skali roku wiatry zachodnie, co sprzyja dodatkowo transportowi zanieczyszczeń z intensywnie uprzemysłowionych terenów Górnego Śląska [9].

Gleby województwa małopolskiego cechują się zróżnicowanym skażeniem metalami ciężkimi. W rejonie tym zawartość kadmu w glebach wynosi od 0,01-33,00 mg·kg⁻¹ przy średniej zawartości wynoszącej 0,83 mg·kg⁻¹ i jest wyższa od średniej krajowej (0,2 mg·kg⁻¹). Stwierdzono tu zawartość ołowiu w przedziale od 3,60-278,70 mg·kg⁻¹, przy średniej zawartości 41,05 mg·kg⁻¹, wyższej niż średnia dla Polski - 13,6 mg·kg⁻¹. Dane te wskazują, że ponad 90% gleb województwa małopolskiego charakteryzuje się zawartością naturalną i podwyższoną metali ciężkich, co pozwala zakwalifikować je do gleb o dużej wartości rolniczej. Jednak około 5% gleb wykazuje słabe zanieczyszczenie. Na glebach takich dozwolona jest uprawa roślin zbożowych z wykluczeniem uprawy warzyw [12].

W okolicy Krakowa średnie i silne zanieczyszczenie gleb występuje w gminach Alwernia, Krzeszowice, Przegonia i Czernichów. Rejony te charakteryzują się bardzo wysoką zawartością ołowiu – do około 80 mg·kg⁻¹.

Nie opracowano jeszcze skutecznej metody oczyszczania gleb skażonych metalami ciężkimi na dużej powierzchni. Dlatego obecnie bada się możliwość wykorzystania roślin uprawnych do usuwania tych pierwiastków z gleby. Metoda ta nosi nazwę fitoremediacji (z ang. phytoremediation). Rośliny różnią się znacznie pod względem stopnia akumulacji metali ciężkich [4]. Skuteczność fitoremediacji zależy od trzech podstawowych czynników: biomasy usuwanej z pola przy zbiorze, ilości zbiorów w ciągu roku oraz zawartości metali ciężkich w jednostce masy roślinnej [3].

Celem pracy było przebadanie skuteczności różnych gatunków warzyw w procesie oczyszczania gleby z metali ciężkich.

MATERIAŁ I METODY

W roku 1999 założono ściśle doświadczenie polowe w Gospodarstwie Doświadczalnym w Garlicy Murowanej, na glebie brunatnej właściwej wytworzonej na lessie. Do badań wytypowano następujące gatunki roślin uprawnych:

- burak ówikłowy (*Beta vulgaris* L. var. *ciela* L),
- cykoria liściowa (*Cichorium intybus* L. var. *foliosum* Hegi),
- dynia zwyczajna (*Cucurbita pepo* L. convar. *giromontina* Greb),
- fasola zwyczajna (*Phaseolus vulgaris* L.),
- kapusta głowiasta biała (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L),
- kukurydza cukrowa (*Zea mays* L. convar. *saccharata* L),
- pasternak zwyczajny (*Pastinaca sativa* L).

W zebranym materiale roślinnym ustalono wysokość biomasy usuwanej z pola. Oznaczono zawartość w poszczególnych organach metali ciężkich (kadm, chrom, mangan i ołów) metodą absorpcji atomowej na spektrofotometrze firmy Varian Spectr AA-20, po uprzedniej mineralizacji materiału roślinnego „na sucho” w piecach muflonowych i rozpuszczeniu popiołu w 20% HNO₃ [10].

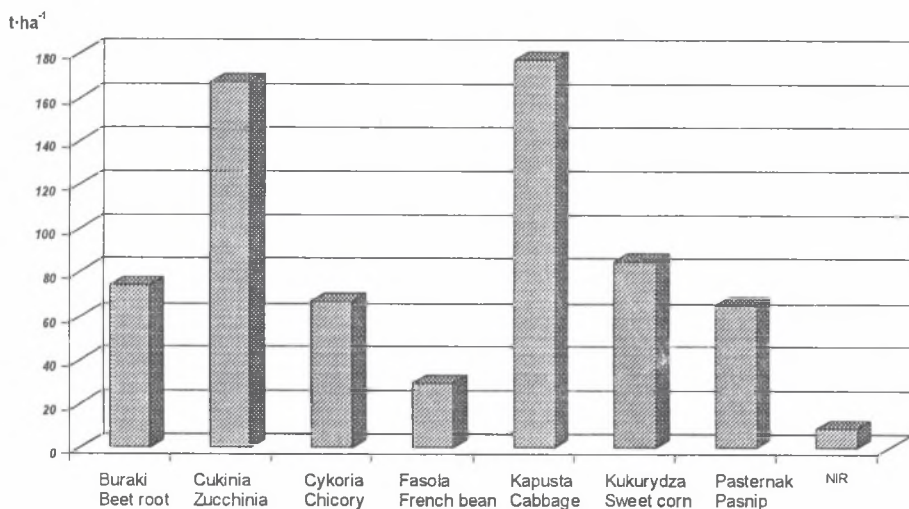
Na poletkach doświadczalnych wykopano odkrywki glebowe przed i po przeprowadzeniu doświadczenia i oznaczono poziom metali ciężkich w poziomach 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm i 60-80 cm, metodą absorpcji atomowej, po uprzednim wytrząsaniu gleby z 1 N HCl (dla oznaczenia chromu i manganu) lub 0,01 M CaCl₂ (dla oznaczenia kadmu i ołowiu).

Wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji z użyciem testu t Studenta przy $\alpha=0,05$.

Uzyskane wyniki posłużyły jako podstawa do kontynuacji doświadczenia w latach 2000 i 2001.

WYNIKI I DYSKUSJA

Uprawiane rośliny należą do różnych rodzin botanicznych. Różnią się one znacznie pod względem ilości wytwarzanej biomasy (rys. 1). Wszystkie uprawiane gatunki warzyw wytworzyły biomasę nadziemną powyżej $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, co jest uznawane za jedno z kryteriów przydatności roślin do fitoekstrakcji metali ciężkich z gleby [6].



Rys. 1. Masa roślin usunięta z pola, $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$

Fig. 1. Harvested plant biomass, $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$

Średni plon biomasy usuwanej z pola przy zbiorze wynosił $95,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Największy plon uzyskano w przypadku kapusty i cukinii, odpowiednio $177,4$ i $167,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Najmniejszą świeżą masę wytworzyła fasola – $30,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, co spełnia jednak wymagane kryterium. Istotnie wyższą biomasę nadziemną niż pozostałe warzywa wytworzyła również kukurydza. Wynosiła ona $86,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Uzyskując plon zielonej masy kukurydzy wynoszący $25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ w dwóch cyklach uprawowych w ciągu roku można obniżyć poziom ołowiu w glebie z $2500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $400 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ w ciągu 7-8 lat [8].

Wielkość zebranego plonu oraz zawartość w nim metali ciężkich decydowała o ich ilości usuniętej z gleby. Różne gatunki charakteryzowały się odmienną zdolnością do gromadzenia poszczególnych pierwiastków w swoich tkankach (tab. 1). Najlepszym fitoakumulatorem okazała się cukinia. Zgromadziła ona w swoich tkankach najwięcej ze wszystkich gatunków kadmu, chromu, manganu, jak i ołowiu. Natomiast najmniej pierwiastków tych zgromadziła fasola. Średnia ilość kadmu usunięta przez warzywa wynosiła $1,11 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$. Najwięcej usunęła go cukinia ($25,3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$), natomiast najmniej fasola (14,6%) w porównaniu do najlepszego fitoakumulatora. Duża ilość kadmu została usunięta z plonem kapusty i pasternaku.

Tabela 1

Ilość metali ciężkich usuniętych z gleby, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$

Gatunki Species	Cd	Cr	Mn	Pb
Buraki Beet root	0,82	0,63	18,48	3,09
Cukinia Zucchini	2,53	16,62	114,32	18,16
Cykoria Cichorium	0,90	1,43	27,24	4,46
Fasola French bean	0,37	2,34	15,96	2,12
Kapusta White cabbage	1,25	3,86	32,64	8,89
Kukurydza Sweet corn	0,74	14,65	21,42	3,66
Pasternak Parsnip	1,18	7,22	25,53	5,55
NIR $\alpha=0,05$	0,19	1,26	3,83	1,21

Średnia ilość chromu usunięta przez rośliny warzywne wynosiła $6,68 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$. Najmniej tego pierwiastka zostało zabrane z pola przy uprawie buraków i cykorii, a najwięcej cukini. Duża ilość chromu została zabrana z pola z plonem kukurydzy; tylko 11,9% mniej niż przez cukinię. Najmniej manganu zawierały w biomase usuwanej z pola buraki i fasola (odpowiednio $18,48$ i $15,96 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$) przy średniej dla uprawianych warzyw wynoszącej $36,51 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$, a najwięcej tego pierwiastka, bo aż $114,32 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$, zawierał plon cukini. Ilość ołowiu usunięta przez rośliny wahała się od $2,12$ - $18,16 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$. Najwięcej tego metalu zostało zabrane z pola wraz plonem cukini, natomiast najmniej buraków i fasoli. W porównaniu z pozostałymi warzywami duża ilość tego pierwiastka została usunięta wraz z plonem kapusty ($8,89 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$). Jak podaje Cunningham, aby oczyszczanie gleby z metali ciężkich odniosło sukces, rośliny powinny usuwać 200 - 1000 kg metalu z hektara w ciągu roku przez okres 20 lat [2]. Salt i inni [11] wyliczyli, że rośliny mogą usunąć w jednym cyklu uprawowym od 180 do 530 kg ołowiu z hektara. Ilość metali ciężkich usunięta z gleby przez części nadziemne roślin ograniczona jest ich słabym transportem z korzeni do pędów. Ołów u wielu gatunków transportowany jest zaledwie w 30% [1]. U kukurydzy ilość ta jest jeszcze mniejsza i wynosi poniżej 20% [6-7].

Pobieranie metali ciężkich przez rośliny w okresie wegetacji wpłynęło na zmianę ich zawartości w glebie w porównaniu do okresu przed uprawą. Różnice te uzależnione były od gatunku oraz od głębokości, do jakiej sięgały korzenie. Największe różnice wystąpiły w warstwie 0 - 20 cm i 20 - 40 cm . Na pozostałych głębokościach były one niewielkie i nie różniły się istotnie.

Największe obniżenie zawartości kadmu w glebie na głębokości 0-20 cm wystąpiło po uprawie buraków (tab. 2). W porównaniu do okresu przed uprawą wynosiło ono 16,7% i różniło się istotnie od ilości tego metalu przed uprawą.

Również w glebie po uprawie kapusty i cukini stwierdzono nieco mniejszą zawartość kadmu w porównaniu z pozostałymi gatunkami, jednak nie różniła się ona istotnie od ilości tego metalu w glebie przed uprawą. Na głębokości 20-40 cm istotnie mniej kadmu w glebie było po uprawie kapusty, cykorii i kukurydzy. Różnice wynosiły odpowiednio 46,5%, 44,2% oraz 23,3%.

Tabela 2

Zawartość kadmu w glebie, $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$

Gatunki Species		Głębokość, cm Depth, cm			
		0-20	20-40	40-60	60-80
Przed uprawą, Before planting		0,48	0,43	0,09	0,04
Po uprawie, After harvesting	Buraki Beet root	0,40	0,45	0,10	0,04
	Cukinia Zucchini	0,44	0,44	0,09	0,04
	Cykoria Cichorium	0,49	0,24	0,09	0,05
	Fasola French bean	0,49	0,43	0,09	0,04
	Kapusta White cabbage	0,43	0,23	0,09	0,04
	Kukurydza Sweet corn	0,45	0,33	0,09	0,04
	Pasternak Parsnip	0,47	0,43	0,09	0,04
NIR $\alpha=0,05$		0,05	0,04	0,01	0,01

Zawartość chromu w glebie na głębokości 0-20 cm zmniejszyła się jedynie w przypadku fasoli (tab. 3). Różnica ta wynosiła 18,2% w porównaniu z tą stwierdzoną przed uprawą. Przy uprawie pozostałych warzyw nie było istotnych różnic. Dla głębokości 20-40 cm istotnie mniej chromu było w przypadku kukurydzy (o 25,6%).

Tabela 3

Zawartość chromu w glebie, $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$

Gatunki Species		Głębokość, cm Depth, cm			
		0-20	20-40	40-60	60-80
Przed uprawa, Before planting		0,88	0,90	0,93	0,92
Po uprawie, After harvesting	Buraki Beet root	1,00	0,82	0,90	0,95
	Cukinia Zucchini	0,90	0,85	1,02	0,95
	Cykoria Cichorium	0,93	0,83	0,90	0,90
	Fasola French bean	0,72	0,80	0,80	0,70
	Kapusta White cabbage	0,92	0,97	0,99	0,97
	Kukurydza Sweet corn	0,98	0,67	1,00	0,98
	Pasternak Parsnip	1,04	0,89	0,96	0,97
NIR $\alpha=0,05$		0,07	0,13	0,07	0,06

Zawartość manganu w warstwie ornej po uprawie roślin wynosiła od 172,3-183,5 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (tab. 4). Istotne obniżenie zawartości w glebie w porównaniu do okresu przed uprawą wystąpiło u cykorii i kapusty; badanego pierwiastka było mniej o 4,5 i 3,8%. W głębszej warstwie mniej manganu znajdowało się w glebie po uprawie kapusty i kukurydzy, natomiast w przypadku fasoli wystąpił nieznaczny wzrost zawartości.

Tabela 4

Zawartość manganu w glebie, $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$

Gatunki Species		Głębokość, cm Depth, cm			
		0-20	20-40	40-60	60-80
Przed uprawą, Before planting		180,4	158,7	76,4	66,6
Po uprawie, After harvesting	Buraki Beet root	183,5	162,8	69,6	70,3
	Cukinia Zucchini	182,9	162,2	76,9	65,7
	Cykoria Cichorium	172,3	158,7	72,1	65,7
	Fasola French bean	180,1	163,3	77,6	70,9
	Kapusta White cabbage	173,6	151,6	71,6	62,1
	Kukurydza Sweet corn	179,4	152,9	75,7	69,3
	Pasternak Parsnip	176,5	161,8	76,1	61,7
NIR $\alpha=0,05$		5,7	4,5	9,2	4,5

Zawartość ołowiu w wierzchniej warstwie gleby po uprawie roślin wahała się od 7,04 – 7,82 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (tab. 5). Największy ubytek tego pierwiastka wystąpił po uprawie kapusty. Wynosił on 11,2% w porównaniu do okresu przed uprawą. Istotnie mniej ołowiu było też przy uprawie cukini i kukurydzy. Rośliny kapusty przyczyniły się również do największego spadku zawartości ołowiu w glebie na głębokości 20-40 cm; wynosił on 49,8%. W poziomie tym również w przypadku cykorii, fasoli i kukurydzy stwierdzono istotnie niższą zawartość Pb w glebie.

Tabela 5

Zawartość ołowiu w glebie, mg·dm⁻³

Gatunki Species		Głębokość, cm Depth, cm			
		0-20	20-40	40-60	60-80
Przed uprawą, Before planting		7,92	7,84	2,97	2,77
Po uprawie, After harvesting	Buraki Beet root	7,82	7,62	3,22	2,98
	Cukinia Zucchini	7,28	7,26	2,53	2,92
	Cykoria Cichorium	7,61	7,01	2,97	2,66
	Fasola French bean	7,57	6,54	3,15	2,74
	Kapusta White cabbage	7,04	3,94	2,25	2,43
	Kukurydza Sweet corn	7,49	6,22	2,92	2,71
	Pasternak Parsnip	7,61	7,99	3,00	2,76
NIR $\alpha=0,05$		0,36	0,59	0,54	0,31

WNIOSKI

1. Ilość biomasy wytworzonej przez wszystkie rośliny warzywne przekraczała 20 t·ha⁻¹. Największą masę wytworzyła kapusta i cukinia, natomiast najmniejszą fasola.
2. Ilość metali ciężkich usuniętych z gleby zależała od gatunku rośliny. Najwięcej pierwiastków tych zgromadziła w swoich tkankach cukinia, natomiast najmniej fasola i buraki.
3. Zmiany zawartości metali ciężkich w glebie zależały od gatunku rośliny. Najwięcej kadmu, chromu, manganu i ołowiu zostało usunięte z warstwy 0-20 cm i 20-40 cm, natomiast na większych głębokościach nie wystąpiły istotne zmiany.

LITERATURA

1. Begonia G.B., Davis C.D., Begonia M.F.T., Gray C.N.: Growth responses of Indian Mustard [*Brassica juncea* (L.) Czen.] and its phytoextraction of lead from a contaminated soil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol* 61: 38-43, 1997.
2. Cunningham S.D., Berti W.R., Huang J.W.: Phytoremediation of contaminated soils. *Trends in Biotechnology* 13(9): 393-398, 1995.
3. Cunningham S.D., Ow W.D.: Promises and prospects of phytoremediation. *Plant Physiol.* 110: 715-719, 1996.
4. Gambuś F.: Fitoprzyswajalność metali ciężkich zawartych w glebie. *Biuletyn Regionalny ZDR* 305: 173-184, 1994.
5. Grant C.A., Buckley W.T. Bailey L.D., Selles F.: Cadmium accumulation in crops. *Can. J. Plant Sci.* 78: 1-17, 1998.
6. Huang J.W., Chen J., Berti W.R., Cunningham S.D.: Phytoremediation of lead contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Environmental Science and Technology* 31(3): 800-805, 1997.
7. Huang J.W., Chen J., Cunningham S.D.: Phytoextraction of lead from contaminated soils. *American Chemical Symposium Series* 664: 283-297, 1997.
8. Huang J.W., Cunningham S.D.: Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. *New Phytol.* 134: 75-84, 1996.
9. Koreleski K.: Problemy ekologiczne woj. krakowskiego ze szczególnym uwzględnieniem terenów rolniczych. *Zeszyty Naukowe AR w Krakowie* 255: 9-17, 1991.
10. Pinta M.: *Absorpcyjna spektrometria atomowa*. PWN, Warszawa 1977, ss.657.
11. Salt D.E., Smith R.D., Raskin I.: Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 49: 643-668, 1998.
12. Tokarz M. (red) i in.: *Ocena stanu zanieczyszczenia gleb województwa małopolskiego metalami ciężkimi i siarką*. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Krakowie, ss. 120, 1999.
13. Turzański K.P. (red) i in.: *Raport o stanie środowiska w województwie krakowskim w 1995 r.* Państwowy Instytut Ochrony Środowiska, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Krakowie, ss. 70, 1996.

Abstract

The development of industry contributed to a considerable contamination of the environment. Heavy metals are classed among the most dangerous pollutants. With respect to cultivated plants their source are both the dust from the atmosphere and the contaminated soil. The Cracow region, which belongs to the province of Malopolska now, is a big centre of vegetable production. In agricultural territories of this region about 5% of soils are characterised by a small content of heavy metals. Production of cereals is allowed on that kind of soil, but production of vegetables is excluded. The investigation concerned the effect of different species of vegetables in the process of decontamination of soil from heavy metals. The process is called phytoremediation. The effect depends on three factors: a biomass removed from fields during vegetable crops, the number of crops during a year and the accumulation of heavy metals in biomass. All investigated species produced the biomass higher than 20 t·ha⁻¹. Zucchini and white cabbage gave the highest fresh weight, the lowest

was given by french bean. Zucchini showed to be the best accumulator of heavy metals. It accumulated the highest content of cadmium, chromium, manganese and lead. French bean accumulated the lowest content of these elements. The assimilation of heavy metals by vegetables affect the content of this elements in soil in comparison with the period before crops. The most significant differences were evidenced in the surface soil horizon (0-20 cm) and in the depth of 20-40 cm. Differences were statistically non-significant in other layers. With respect to cadmium the lower content in the depth of 2-0-20 cm was observed in the case of beet root, in the horizon of 20-40 cm – in the production of cabbage, chicory and corn. The content of chromium in the surface soil horizon decreased only in the case of french bean, in the horizon of 20-40 cm – in the production of corn. With respect to manganese significant differences in comparison with the period before crops were observed in the production of chicory and white cabbage in the surface soil horizon (0-20 cm) and in the production of white cabbage and corn in horizon of 20-40 cm. The higher decrease of lead in soil was observed in case of white cabbage in the depth of 2-0-20 cm and 20-40 cm.

Recenzent: Prof. dr hab. Stanisław Kalembasa