

Katedra Agroekologii, Uniwersytet Rzeszowski
ul. Ćwiklińskiej 2, 35-601 Rzeszów, Poland

Janina Kaniuczak

**Wpływ wapnowania i nawożenia mineralnego na zawartość kadmu
w bulwach ziemniaków uprawianych w zmianowaniu**

The influence of liming and mineral fertilization on cadmium content in tubers
of potatoes cultivated in cropping system

ABSTRACT. The paper presents studies on cadmium content in potatoes of tubers cultivated in 1986–2001, on grey-brown podzolic soils formed from loess. The experiment was done according to the method of random subblocks in the static fertilizers field with plant cultivation in the 4-years cropping system, and NPK Mg, NPK Mg Ca fertilization. Crop rotation was the following: in 1986–1989 – potatoes, spring barley, pasture cabbage, whinter wheat; in 1990–1993, 1994–1997, 1997–2001 – potatoes, spring barley, pasture sunflower whinter wheat. Mineral fertilization included NPK fertilization against the background of constant Mg fertilization, and varied NPK fertilization against the background of constant Mg and Ca (liming) fertilization. Liming was performed in 1985, 1989, 1993, 1997 ($4 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaO}$). The experiment included 14 fertilizer objects, in 4 replications. Cadmium content in tubers of potatoes were determined by atomic absorption spectrophotometry after mineralizing plant samples in the mixture: $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4 : \text{H}_2\text{SO}_4$, in ratio 20 : 5 : 1, in organic phase (MBIK). Liming decreased cadmium content in tubers of potatoes. Mineral fertilization did not influence cadmium content. But a tendency to increase cadmium content in tubers of potatoes was observed in the effect of higher doses: P, K and NPK fertilization.

KEY WORDS: liming, mineral fertilization NPK, potatoes, cadmium content

Nagromadzenie kadmu w glebie i w roślinach uwarunkowane jest rodzajem podłoża geologicznego [Gorlach 1995; Gorlach, Gambuś 1996; Kaniuczak, Hajduk 1995, 2000], a także nawozowym stosowaniem odpadów [Kabata-Pendias, Piotrowska 1984; Mercik i in. 1997] i intensywnym nawożeniem fosforowym

[Kabata-Pendias, Piotrowska 1984; Małysowa, Patorczyk-Pytlik 1986; Turski i in. 1990; Makela-Kurtto i in. 1991; Ruszkowska i in. 1996; Gorlach, Gambuś 1997; Kaniuczak 1997, 1998; Kaniuczak, Hajduk 2000]. Innymi źródłami kadmu są pyły emitowane do atmosfery w wyniku różnych procesów naturalnych i działalności człowieka. Narastająca w ostatnich latach emisja pyłów metalicznych oraz ich globalne rozprzestrzenianie budzą w społeczeństwach niepokój [Kabata-Pendias i in. 1986; Turski, Baran 1995; Makela-Kurtto i in. 1999; Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Znaczące źródła pierwiastków śladowych emitowanych do atmosfery stanowią przemysł i energetyka oraz komunikacja [Turski, Baran 1995; Kabata-Pendias, Pendias 1999].

Stosunkowo duży udział ziemniaków w diecie człowieka (ok. 20%), przy zwiększonej zawartości kadmu, może być przyczyną nagromadzenia tego pierwiastka w organizmie. Dlatego celem badań było ustalenie wpływu wapnowania i nawożenia mineralnego na zawartość kadmu w bulwach ziemniaków uprawianych w zmianowaniu.

METODY

Badania nad wpływem wapnowania (A) i nawożenia mineralnego (B) na zawartość kadmu w bulwach ziemniaków uprawianych w czteroletnim zmianowaniu przeprowadzono na stałym polu nawozowym w miejscowości Krasne k/Rzeszowa w latach 1986–2001. Doświadczenie założono metodą podbloków losowych w czterech powtórzeniach. Pierwszym czynnikiem zmiennym było wapnowanie (A_2) lub jego brak (A_1). Drugim czynnikiem było zróżnicowane nawożenie mineralne NPK (B) na tle stałego nawożenia magnezem. W zmianowaniu uprawiano następujące rośliny: ziemniaki, jęczmień jary, słonecznik pastewny i pszenicę ozimą. Pod uwagę wzięto cztery zmianowania roślin, w których ziemniaki uprawiano w latach: 1988, 1992, 1996 i 2000.

Podstawowe dawki nawozów mineralnych ($N_1P_1K_1$) na tle stałego nawożenia magnezem były następujące: ziemniaki: $N_1 = 120$ kg N, $P_1 = 100$ kg P_2O_5 , $K_1 = 160$ kg K_2O ha^{-1} , jęczmień jary: $N_1 = 80$ kg N, $P_1 = 100$ kg P_2O_5 , $K_1 = 120$ kg K_2O ha^{-1} , słonecznik pastewny: $N_1 = 100$ kg N, $P_1 = 80$ kg P_2O_5 , $K_1 = 120$ kg K_2O ha^{-1} , pszenica ozima: $N_1 = 90$ kg N, $P_1 = 80$ kg P_2O_5 , $K_1 = 100$ kg K_2O ha^{-1} .

W latach 1986–1989 zamiast słonecznika uprawiano kapustę pastewną, pod którą dawka ($N_1P_1K_1$) wynosiła: $N_1 = 120$ kg N, $P_1 = 60$ kg P_2O_5 , $K_1 = 100$ kg K_2O ha^{-1} . Stałe nawożenie magnezem zastosowano przedsięwzięcie w każdym podbloku w latach 1986–1993 w dawce 120 kg MgO ha^{-1} , a począwszy od 1994 roku dawkę magnezu zmniejszono do 40 kg MgO ha^{-1} . Wapnowanie w dawce

4 t CaO ha⁻¹ zastosowano w latach: 1985, 1989, 1993 i 1997 po zbiorze roślin uprawnych, kończących poprzednie zmianowanie. Nawozy mineralne NPK stosowano w postaci saletry amonowej, superfosfatu potrójnego i soli potasowej KCl (58%), siarczaniu magnezu, CaO lub CaCO₃. Przed założeniem doświadczenia oznaczono niektóre właściwości gleby (tab. 1).

Tabela 1. Niektóre właściwości gleby płowej wytworzonej z lessu położonej na Podgórzu Rzeszowskim przed rozpoczęciem badań (1986)

Table 1. Some properties of grey-podzolic soils formed from loess Podgórze Rzeszowskie before research (1986)

Wyszczególnienie Specification		Głębokość Depth 0–25 cm	Głębokość Depth 26–50 cm
Skład granulometryczny % cząstek o średnicy: Granulometric composition % fraction of diameter	1–0,1 mm	12	5
	0,2–0,02 mm	52	51
	< 0,02 mm	36	44
	< 0,002 mm	5	21
Odczyn gleby: Soil reaction	pH _{H2O}	4,93	4,90
	pH _{KCl}	3,92	3,89
C-organiczny Organic C	g kg ⁻¹	7,6	-
Hh Hydrolitic acidity	cmol (+) kg ⁻¹	4,87	3,60
S Total exchange bases	cmol (+) kg ⁻¹	4,06	5,80
T Exchange capacity	cmol (+) kg ⁻¹	8,93	9,40
Formy przyswajalne: Available forms mg kg ⁻¹	P	21,60	59,50
	K	120,00	97,30
	Mg	73,00	66,00
Formy rozpuszczalne: Soluble forms mg kg ⁻¹	Cu	2,70	4,60
	Zn	4,20	2,20
	Mn	161	64
Formy ogólne: Total forms mg kg ⁻¹	Cd	0,22	0,18
	Pb	20,50	18,50
	Ni	10,40	27,90
	Co	5,80	8,10

Próby materiału roślinnego pobrano po zbiorze ziemniaków (odmiana Atoł), które wysuszono do absolutnie suchej masy. W materiale roślinnym kadm oznaczano metodą ASA po uprzedniej mineralizacji w mieszaninie stężonych kwasów: HNO₃ : HClO₄ : H₂SO₄, w proporcjach 20 : 5 : 1, po zagęszczeniu w fazie organicznej ketonu metyloizobutyloвого (MBIK). Materiał analityczny opracowano statystycznie, z zastosowaniem analizy wariancji dla klasyfikacji podwójnej (wapnowanie, nawożenie NPK). Wyliczono półprzedziały ufności Tukeya (NIR) przy poziomie istotności p = 0,05.

WYNIKI

Zawartość kadmu w bulwach ziemniaka podlegała zróżnicowaniu w poszczególnych obiektach nawozowych, głównie w zależności od wapnowania (tab. 2). W ziemniakach uprawianych na glebie niewapnowanej zawartość kadmu wahała się średnio od 0,26 do 0,51 mg kg⁻¹. Średnia zawartość kadmu w bulwach z tego podbloku wynosiła 0,38 mg kg⁻¹. W bulwach ziemniaków uprawianych na glebie wapnowanej zawartość tego pierwiastka mieściła się w węższym zakresie tj. od 0,19 do 0,33 mg kg⁻¹, przy średniej zawartości 0,25 mg kg⁻¹.

Tabela 2. Średnia zawartość kadmu w bulwach ziemniaka w zależności od wapnowania (A) i nawożenia mineralnego (B), mg kg⁻¹ s.m.

Table 2. Mean cadmium content in tubers of potatoes depending on liming (A) and mineral fertilization (B), mg kg⁻¹ d.m.

Lp. No.	Obiekty nawozowe (B) Treatments of fertilizer (B)	A ₁	A ₂	Średnio (B) Mean (B)
1	N ₀ P ₀ K ₀	0,26	0,23	0,24
2	N ₀ P ₁ K ₁	0,51	0,19	0,35
3	N _{0,5} P ₁ K ₁	0,36	0,25	0,30
4	N ₁ P ₁ K ₁	0,32	0,26	0,29
5	N _{1,5} P ₁ K ₁	0,27	0,28	0,27
6	N ₁ P ₀ K ₁	0,33	0,19	0,29
7	N ₁ P _{0,5} K ₁	0,34	0,25	0,28
8	N ₁ P _{1,5} K ₁	0,48	0,27	0,37
9	N ₁ P ₁ K ₀	0,33	0,23	0,28
10	N ₁ P ₁ K _{0,5}	0,37	0,24	0,30
11	N ₁ P ₁ K _{1,5}	0,41	0,33	0,37
12	N _{0,5} P _{0,5} K _{0,5}	0,46	0,26	0,36
13	N _{1,5} P _{1,5} K _{1,5}	0,50	0,27	0,38
14	N ₂ P ₂ K ₂	0,45	0,23	0,34
Średnio (A) Mean (A)		0,38	0,25	
NIR p = 0,05		NIR _A = 0,11, NIR _B = ni ns, NIR _{AB} = ni ns		

A₁ – nawożenie NPK Mg/NPK Mg fertilization, A₂ – nawożenie NPK Mg Ca/NPK Mg Ca fertilization, ni – różnice nieistotne/ ns – non significant differences

Z badań tych wynika, że ziemniaki uprawiane na glebie zakwaszonej zawierały więcej kadmu w bulwach, bowiem w tych warunkach kadm wykazuje większą mobilność i fitoprzyswajalność. Ponadto w ziemniakach uprawianych na glebie zakwaszonej (A₁) zaobserwowano tendencję zwiększania się zawartości kadmu w wyniku wzrastających dawek nawozów fosforowych (obiekty 6, 7, 4, 8). Z dotychczasowych badań wynika, że zwiększone dawki nawozów fosforo-

wych mogą spowodować wzrost zawartości kadmu w roślinach [Kabata-Pendias, Piotrowska 1984; Małysowa, Patorczyk-Pytlik 1986; Turski i in. 1990; Gorlach, Gambuś 1997; Kaniuczak 1997, 1998]. Wapnowanie ograniczyło gromadzenie kadmu w bulwach ziemniaka. Ujawniło się to również tendencją korzystnego współdziałania wapnowania i nawożenia mineralnego, które polegało na kształtowaniu niższej zawartości kadmu w ziemniakach uprawianych na glebie wapnowanej. Statystyczne opracowanie materiału analitycznego oszacowało brak istotnego wpływu nawożenia mineralnego (B) na zawartość kadmu w bulwach. Jednak zarysowała się tendencja wzrostu ilości tego pierwiastka w bulwach w wyniku zwiększania dawek nawozów fosforowych (obiekty 6, 7, 4, 8). Wzrastające nawożenie potasem (obiekty 9, 10, 4, 11) spowodowało także tendencję wzrostu zawartości kadmu w ziemniakach uprawianych na glebie niewapnowanej, wapnowanej oraz niezależnie od wapnowania (B). Podobny wpływ wykazywało wzrastające nawożenie NPK przy proporcjonalnym wzroście N, P i K (obiekty 1, 12, 4, 13, 14).

Spożycie ziemniaków w naszym kraju jest stosunkowo duże, dlatego ważnym problemem jest kształtowanie ich jakości, m. in. w aspekcie zawartości metali ciężkich. Z dotychczasowych badań wynika, że zróżnicowanie zawartości pierwiastków śladowych w ziemniakach zależy głównie od warunków środowiskowych. Lipiński [2000] stwierdził, że ziemniaki uprawiane na glebach lekkich wyróżniają się mniejszą zawartością kadmu niż na glebach ciężkich. Zawartość kadmu w ziemniakach zależy od lokalizacji plantacji, a szczególnie od stopnia skażenia tym pierwiastkiem gleby, na której uprawia się rośliny. Kabata-Pendias i Pendias [1999] podają, że zawartość kadmu w bulwach ziemniaków w Polsce wynosi od 0,06 do 0,42 mg kg⁻¹. Większość badanych prób ziemniaków uprawianych na glebie niewapnowanej, a wszystkie próby z gleby wapnowanej mieściły się w tym zakresie zawartości kadmu.

W badaniach przeprowadzonych w okolicach zakładów przemysłowych w Płocku [Indeka, Karaczun 2000], zaobserwowano także zróżnicowaną zawartość kadmu w bulwach ziemniaka (od 0,15 do 0,78 mg kg⁻¹). Z tego wynika, że zawartość kadmu w bulwach pochodzących z obiektów gleby niewapnowanej ma wartości zbliżone do roślin uprawianych w strefie oddziaływania przemysłu. W warunkach antropopresji przemysłowej zawartość kadmu w ziemniakach pochodzących z województwa katowickiego mieści się w zakresie od 0,04 do 0,99 mg kg⁻¹ [Piotrowska, Terelak 1997]. Kabata-Pendias i Pendias [1999] określili dopuszczalną wartość krytyczną kadmu w roślinach przeznaczonych do celów konsumpcyjnych, która powinna być mniejsza od 0,15 mg Cd kg⁻¹. Porównując wyniki zawartości kadmu w bulwach ziemniaków uprawianych na glebie niewapnowanej oraz wapnowanej, należy stwierdzić przekroczenie kry-

tycznej zawartości tego pierwiastka. Takie ziemniaki można przeznaczyć na cele paszowe lub przemysłowe [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Z raportu pilotowego [Michna 1993] wynika, że 15,7% ogólnej liczby badanych prób ziemniaków w Polsce, przekroczyło dopuszczalne zawartości kadmu. Zawartość tego pierwiastka była większa w regionie południowym Polski. Badania przeprowadzone w południowo-wschodniej Polsce wykazały, że tylko 35% ogółu próbek ziemniaków pochodzących z Płaskowyżu Kolbuszowskiego wykazuje się zawartością kadmu umożliwiającą wykorzystanie konsumpcyjne, a z Podgórze Rzeszowskiego – 42% [Właśniewski 2000]. Kabata-Pendias i Pendias [1999] zwracają uwagę na to, że pierwiastek ten jest łatwo pobierany przez rośliny, bez względu na właściwości gleby, a istotnym źródłem jest kadm zawarty w powietrzu atmosferycznym. Gleby wytworzone z lessów, położone w regionie Podgórze Rzeszowskiego, cechuje naturalna zawartość kadmu [Kaniuczak 1998; Kaniuczak, Hajduk 2000], jak również inne gleby południowo-wschodniej Polski [Kaniuczak, Hajduk 1995, Terelak, Tujaka 2003].

WNIOSKI

1. Wapnowanie wpłynęło na obniżenie zawartości kadmu w bulwach ziemniaków uprawianych na glebie lessowej (w czwartym roku po tym zabiegu).
2. Nawożenie mineralne nie wpłynęło na zawartość kadmu w bulwach ziemniaka. Zaznaczyła się jednak tendencja zwiększania zawartości tego pierwiastka w bulwach w wyniku wzrastającego nawożenia fosforem, potasem oraz NPK przy proporcjonalnym wzroście N, P i K.
3. Statystycznie nie udowodniono współdziałania wapnowania i nawożenia mineralnego w kształtowaniu zawartości kadmu w bulwach ziemniaka. Jednakże obserwuje się tendencję do mniejszej zawartości kadmu w bulwach pochodzących z obiektów wapnowanych w porównaniu z obiektami niewapnowanymi.
4. Bulwy ziemniaków uprawianych w warunkach wapnowania i nawożenia mineralnego zawierały podwyższoną zawartość kadmu. Zawartość kadmu w bulwach ziemniaków przekroczyła dopuszczalną wartość krytyczną tego pierwiastka kwalifikującą do przydatności konsumpcyjnej. Ziemniaki te można wykorzystać tylko do celów paszowych lub przemysłowych.

PIŚMIENNICTWO

- Gorlach E. 1995. Metale ciężkie jako czynnik zagrażający żyzności gleby. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 421a, 113–122.

- Gorlach E., Gambuś F. 1996. Badania nad możliwością ograniczenia pobierania kadmu przez rośliny z gleb zanieczyszczonych tym metalem. *Rocz. Gleb.* 47, 31–39.
- Gorlach E., Gambuś F. 1997. Nawozy fosforowe i wieloskładnikowe, jako źródło zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 488a, 139–146.
- Indeka L., Karaczun Z. 2000. Zawartość kadmu w glebie oraz w zbożach, bulwach ziemniaka i lucernie w rejonie Płocka. *Zesz. Nauk. PAN "Człowiek – środowisko"* 26, 133–140.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN Warszawa.
- Kabata-Pendias A., Piotrowska M. 1984. Zanieczyszczenie gleb i roślin uprawnych pierwiastkami śladowymi. *Oprac. Problem. CBR, Warszawa*, 2–28.
- Kabata-Pendias A., Tarłowski P., Bolibrzuch E., Dudka S. 1986. Opad nieorganiczny zanieczyszczeń atmosferycznych na powierzchnię gleb. Obieg pierwiastków śladowych w ekosystemach rolnych. *IUNG Puławy*, 5–30.
- Kaniuczak J. 1997. Elementy bilansu kadmu i niklu w glebie lessowej w zależności od nawożenia mineralnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 448, 197–205.
- Kaniuczak J. 1998. Badania nad kształtowaniem się zawartości pierwiastków śladowych w glebach lessowych. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Rozprawy* 244, 1–98.
- Kaniuczak J., Hajduk E. 1995. Kadm i ołów w niektórych glebach południowo-wschodniej Polski. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 418, 241–246.
- Kaniuczak J., Hajduk E. 2000. Zawartość kadmu w profilach gleb wytworzonych z lessu w zależności od wapnowania i nawożenia mineralnego. *Zesz. Nauk. PAN "Człowiek – środowisko"* 26, 77–83.
- Lipiński W. 2000. Zawartość kadmu w glebach o różnym składzie granulometrycznym oraz w ziarnie pszenicy i bulwach ziemniaka. *Zesz. Nauk. PAN „Człowiek – środowisko”* 26, 109–113.
- Makela-Kurtto R., Ervio R., Sippola J. 1991. Chemical changes in cultivated soils in 1974-1987. *Geological survey of Finland* 105, 81–91.
- Małysowa E., Patorczyk-Pytlik B. 1986. Ocena wpływu różnych nawozów fosforowych na pobieranie kadmu przez rośliny uprawne w warunkach silnego skażenia gleb tym metalem. *Symp. „Równowaga jonowa w glebach i roślinach w warunkach intensywnego nawożenia” IUNG Puławy*, 123–128.
- Mercik S., Stępień W., Gębski W. 1997. Zawartość kadmu w roślinach oraz w profilu glebowym w wyniku dwu lub trzykrotnego zastosowania wapna z huty ołowiu. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 448a, 253–260.
- Michna W. 1993. Raport pilotowy o zanieczyszczeniach i skażeniach użytków rolnych, surowców żywnościowych i żywności w latach 1989–1992. *Biblioteka Monitoringu Środowiska*. Warszawa.
- Piotrowska M., Terelak H. 1997. Kadm w glebach Polski. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 448a, 251–257.
- Ruszkowska M., Kusio M., Sykut S. 1996. Wymywanie pierwiastków śladowych z gleby w zależności od jej rodzaju i nawożenia. *Rocz. Gleb.* 46, 11–22.
- Terelak H., Tujaka A. 2003. Występowanie pierwiastków śladowych w glebach użytków rolnych województwa podkarpackiego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 493, 245–252.
- Turski R., Baran S. 1995. Degradacja, ochrona i rekultywacja gleb. *Wyd. AR Lublin*.
- Turski R., Wójcikowska-Kapusta A., Kukier U. 1990. Bilans Cd w glebach różnie nawożonych i nawadnianych w doświadczeniu lizymetrycznym. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Sesja Nauk.* 26, 113.
- Właśniewski S. 2000. Kadm w ziarnie pszenicy i bulwach ziemniaka w północnej części regionu podkarpackiego. *Zesz. Nauk. PAN „Człowiek – środowisko”* 26, 149–156.

