

**Anna Zaniewicz-Bajkowska*, Robert Rosa*, Jolanta Franczuk*,
Edyta Kosterna***

**WAPNOWANIE GLEBY A AKUMULACJA KADMU
W BURAKU ĆWIKŁOWYM**

THE SOIL LIMING AND CADMIUM ACCUMULATION IN RED BEET

Słowa kluczowe: kadm, bioakumulacja, wapnowanie gleby, burak ćwikłowy, odmiany.

Key words: cadmium, bioaccumulation, soil liming, red beet, cultivars.

The soil liming on the cadmium accumulation in storage roots and leaves of six red beet cultivars (Astar F., Crosby, Czerwona Kula, Opolski, Regulski Cylinder, Rywal) was investigated. Favourable direct influence of soil liming on the content available for plants cadmium was found. During the red beet harvest limed soil contained significantly less available cadmium ($0.114 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ p.s.m.}$) than non-limed soil ($0.126 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ p.s.m.}$).

However, liming had not significant influence on the total content this element in soil. Red beet cultivated in liming soil were characterised smaller content and lower index of cadmium accumulation in roots and leaves than red beet cultivated in non-limed soil. In the results of liming an average content of cadmium in storage roots and leaves of beet decreased by $0.10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ Also, decreased index of cadmium accumulation: in roots from 0.97 to 0.89 and in leaves from 1.14 to 1.05.

Obtained value of index of cadmium accumulation indicated that content this metal in eatable part of red beet can equal and even exceed concentration in soil. The content of cadmium in eatable part of tested red beet cultivar did not differ significantly.

* *Dr hab. Anna Zaniewicz-Bajkowska, dr inż. Robert Rosa, dr hab. Jolanta Franczuk i dr inż. Edyta Kosterna – Katedra Warzywnictwa, Akademia Podlaska, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce; tel.: 25 643 12 76; e-mail: warzywa@ap.siedlce.pl*

1. WPROWADZENIE

Rośliny są najbardziej wrażliwym na zanieczyszczenie elementem środowiska naturalnego. Najszybciej reagują na zmiany chemiczne w nim zachodzące, ponieważ ich organizmy charakteryzuje niski poziom homeostazy, a stąd wynika duża ich podatność na akumulowanie w tkankach różnego rodzaju zanieczyszczeń, w tym także metali ciężkich [Nowakowski i Podgórski 1986, Piekarski 1996]. Jednym z najbardziej niebezpiecznych dla środowiska naturalnego metali ciężkich jest kadm. Jest on łatwo przyswajany przez system korzeniowy, o czym świadczy wysoki współczynnik transferu gleba – roślina [Galler 1992, Alloway, Ayres 1999].

Źródłem kadmu zanieczyszczającego środowisko wzdłuż dróg są spaliny powstające z olejów napędowych, oleje do smarowania oraz pył ze ścierających się opon, nawierzchni dróg i metalicznych powierzchni trących [Maciejewska i Skłodowski 1995, Mirosławski i in. 2000].

Podstawowym zabiegiem zmniejszającym zagrożenia związane z podwyższoną zawartością metali ciężkich w glebach powinno być ich wapnowanie [Jackson i Alloway 1991, Puschenreiter i in. 2005]. Chaney i in. [1994] podają, że wraz ze wzrostem odczynu gleby zmniejsza się pobieranie kadmu przez rośliny.

Badania Crews i Davis [1995], Kurdubskiej i Tyksińskiego [2000], Kalisza i in. [2001] wskazują na odmianowe różnice w bioakumulacji kadmu w różnych gatunkach roślin uprawnych.

2. CEL, MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Celem badań było określenie wpływu wapnowania gleby na zawartość w niej dostępnych dla roślin form kadmu oraz na pobieranie tego pierwiastka przez sześć odmian buraka ćwikłowego (Astar F₁, Crosby, Czerwona Kula, Opolski, Regulski Cylinder, Rywal).

Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2005–2007 w Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Zawadach. Przez teren Stacji przebiega międzynarodowa trasa E-30, którą charakteryzuje duże natężenie ruchu samochodowego.

Eksperyment polowy zlokalizowano w odległości 10 m od krawędzi jezdni. Badania prowadzono na glebie płowej, należącej do rzędu gleb brunatnoziemnych, pod względem przydatności rolniczej zaliczonej do klasy bonitacyjnej IVa, kompleksu żyniego dobrego. Glebę charakteryzowała zawartość próchnicy 1,54% i odczyn lekko kwaśny – pH w H₂O 5,6. Przed założeniem doświadczenia całkowita zawartość kadmu w warstwie ornej wyniosła średnio 1,25 mg Cd·kg⁻¹p.s.m., a zawartość kadmu przyswajalnego dla roślin 0,103 mg Cd·kg⁻¹p.s.m., co stanowiło 9,35% zawartości całkowitej.

Doświadczenie założono metodą split-blok w trzech powtórzeniach. Badano w nim wpływ następujących czynników:

A. Wapnowanie gleby:

- gleba wapnowana nawozem wapniowym węglanowym zwyczajnym w ilości 2,0 t $\text{CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$,
- gleba niewapnowana;

B. Odmiana buraka ćwikłowego:

- Rywal,
- Czerwona Kula,
- Astar F₁,
- Regulski Cylinder,
- Opolski,
- Crosby.

Powierzchnia poletek do zbioru wynosiła 12,5 m². Wapnowanie gleby wykonano jesienią po zbiorze przedplonu (kukurydza). Nasiona buraka ćwikłowego wysiewano w pierwszej dekadzie maja. Przed wysiewem wykonano nawożenie mineralne w ilości 250 kg NPK·ha⁻¹ (N:P₂O₅:K₂O = 2:2:3). Zbiór korzeni spichrzowych i liści przeprowadzono w pierwszej dekadzie września. Podczas zbioru z każdego poletka pobrano próby gleby oraz części użytkowych buraka w celu oznaczenia:

- całkowitej zawartości kadmu w glebie (Cd-całkowity) oraz zawartości w glebie kadmu rozpuszczalnego (Cd-rozpuszczalny), który traktowano jako przyswajalny dla roślin, ekstrahowanego z gleby roztworem 0,01 M CaCl_2 ;
- zawartości kadmu w korzeniach spichrzowych i liściach buraka ćwikłowego.

Całkowitą zawartość kadmu w glebie oraz w korzeniach spichrzowych i liściach buraka oznaczono po zastosowaniu roztwarzania mikrofalowego, które przeprowadzono w wysokociśnieniowym systemie mikrofalowym MLS-1200 MEGA firmy MILESTONE. Materiał glebowy i roślinny mineralizowano na mokro, w mieszaninie stężonego kwasu azotowego i perhydrolu. Kadm w roztworach (po ekstrakcji kompleksów z APDC) oznaczano metodą atomowej spektrofotometrii absorpcyjnej na aparacie Solar 929 firmy ATI UNICAM.

Uzyskane wyniki wykorzystano do obliczenia:

- wskaźnika rozpuszczalności (stosunek Cd-rozpuszczalnego do Cd-całkowitego w glebie)

oraz

- akumulacji (stosunek zawartości kadmu w korzeniach i liściach buraka ćwikłowego do Cd-całkowitego w glebie).

Otrzymane wyniki badań opracowano statystycznie, stosując analizę wariancji zgodnie z modelem matematycznym dla układu split-blok. Istotność różnicy średnich oceniono testem Tukey'a, przy poziomie istotności $p=0,05$.

3. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Całkowita zawartość kadmu w glebie i zawartość w niej kadmu przyswajalnego dla roślin wynosiły średnio 1,24 mg·kg⁻¹ p.s.m. i 0,120 mg·kg⁻¹ p.s.m. (tab. 1).

Tabela 1. Odczyn gleby i zawartość kadmu w glebie (średnie z lat 2005–2007)

Table 1. Soil pH and the cadmium content in soil (mean for years 2005–2007)

Gleba	pH	Cd-całkowity (mg Cd kg ⁻¹ p.s.m.)	Cd-rozpuszczalny (mg Cd kg ⁻¹ p.s.m.)	Wskaźnik rozpuszczalności
wapnowana	6,07	1,25	0,114	0,091
niewapnowana	5,59	1,24	0,126	0,102
średnio	5,83	1,24	0,120	0,097
NIR _{0,05}	0,23	n.i.	0,002	0,003

Całkowita zawartość kadmu była wyższa od średniej zawartości tego pierwiastka w glebach Polski, określonej przez Kabatę-Pendias i Pendias [1993] na poziomie 0,2 mg Cd·kg⁻¹ s.m. gleby. Przewyższała także dopuszczalną normę dla lekkich gleb uprawnych wynoszącą 1,0 mg Cd·kg⁻¹ s.m., określoną w rozporządzeniu Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w sprawie warunków, jakie muszą być spełnione przy wykorzystaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe [Rozporządzenie... 1999].

Wapnowanie nie miało znaczącego wpływu na całkowitą zawartość kadmu w glebie, przyczyniło się natomiast do istotnego wzrostu jej odczynu i obniżenia zawartości kadmu rozpuszczalnego. W czasie zbioru buraka ćwikłowego gleba niewapnowana zawierała 0,126 mg·kg⁻¹ p.s.m., a wapnowana 0,114 mg·kg⁻¹ p.s.m. kadmu rozpuszczalnego. Pod wpływem wapnowania zawartość w glebie kadmu rozpuszczalnego obniżyła się o 9,52%. Średnia wartość wskaźnika rozpuszczalności 0,097 wskazuje, że prawie 10% kadmu znajdującego się w glebie miało postać związków rozpuszczalnych, łatwo przyswajalnych dla roślin. Wskaźnik rozpuszczalności kadmu dla gleby wapnowanej kształtował się na poziomie 0,091, a dla gleby niewapnowanej 0,102. Uzyskane rezultaty są zbieżne z wynikami badań innych autorów. Baran i in. [1998] podają, że pod wpływem wapnowania zawartość rozpuszczalnych form kadmu w glebie obniżyła się o 18,4% w porównaniu do stwierdzonej w glebie niewapnowanej. Niemyska-Łukaszyk [1995] jest zdania, że zawartość w glebie kadmu przyswajalnego dla roślin przy pH w zakresie 6,1–6,5 maleje do wartości mniejszej niż 1%, a przy pH 6,5 kadm przyswajalny w ogóle w glebie nie występuje. O istotnej zależności między rozpuszczalnością i dostępnością kadmu dla roślin a odczynem gleby donoszą także Gorlach [1995], Chłopecka i in. [1996] oraz Young i in. [2000].

Średnia zawartość kadmu (\bar{x}) w korzeniach spichrzowych buraka wyniosła 1,16 mg·kg⁻¹ s.m., w liściach natomiast była większa i kształtowała się na poziomie 1,36 mg·kg⁻¹s.m. (tab. 2). Oznaczone zawartości przekroczyły ustaloną w rozporządzeniu Ministra Zdrowia w sprawie

Tabela 2. Zawartość oraz wskaźnik akumulacji kadmu w buraku ćwikłowym (średnie z lat 2005–2007)
Table 2. Cadmium content and cadmium accumulation rate in red beet (mean for years 2005–2007)

Odmiana buraka ćwikłowego	Zawartość kadmu w mg Cd·kg ⁻¹ s.m.						Wskaźnik akumulacji kadmu					
	korzenie spichrzowe			liście			korzenie spichrzowe			liście		
	W	NW	\bar{x}	W	NW	\bar{x}	W	NW	\bar{x}	W	NW	\bar{x}
Rywał	1,12	1,20	1,16	1,31	1,38	1,34	0,90	0,98	0,94	1,05	1,12	1,09
Czerwona Kula	1,08	1,20	1,14	1,28	1,42	1,35	0,85	0,96	0,90	1,01	1,15	1,08
Astar F ₁	1,14	1,20	1,17	1,34	1,42	1,38	0,91	0,99	0,95	1,07	1,18	1,12
Regulski Cylinder	1,12	1,23	1,17	1,30	1,42	1,36	0,89	0,99	0,94	1,03	1,14	1,09
Opolski	1,12	1,19	1,16	1,27	1,38	1,33	0,90	0,96	0,93	1,03	1,12	1,07
Crosby	1,08	1,20	1,14	1,36	1,43	1,39	0,88	0,96	0,92	1,11	1,14	1,12
Średnio	1,11	1,21	1,16	1,31	1,41	1,36	0,89	0,97	0,93	1,05	1,14	1,10
NIR _{0,05} dla:												
• wapnowania		0,03			0,04			0,04			0,05	
• odmiany		n.i.			n.i.			n.i.			n.i.	
• interakcji		n.i.			n.i.			n.i.			n.i.	

Objaśnienia: W – gleba wapnowana, NW – gleba niewapnowana.

maksymalnych poziomów zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych, które mogą znajdować się w żywności, składnikach żywności, dowolnych substancjach dodatkowych, substancjach pomagających przetwarzaniu albo na powierzchni żywności [Rozporządzenie... 2003] dopuszczalną normę dla warzyw korzeniowych, wynoszącą $0,08 \text{ mg Cd}\cdot\text{kg}^{-1}$ św.m. ($0,61 \text{ mg Cd}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.). Wapnowanie gleby wpłynęło istotnie na zmniejszenie zawartości kadmu w buraku ćwikłowym. Pod wpływem wapnowania średnia zawartość kadmu w korzeniach spichrzowych i liściach zmniejszyła się o $0,10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., czyli odpowiednio o 8,26% i 7,09%, jednak nadal przewyższała ilości dozwolone normą. Na ograniczenie fitoprzyswajalności metali ciężkich w wyniku regulacji odczynu gleby zwracają uwagę m.in. Niemyska-Lukaszuk [1995] i Kaniuczak [2004]. Także Sauerbeck [1991] oraz Chaney i in. [1994] są zdania, że zawartość kadmu w roślinach jest ściśle związana z kwasowością gleby. Gębski [1998] oraz Blake i Goulding [2002] donoszą, że mobilność kadmu znacznie maleje przy wzroście wartości pH powyżej 6–6,5. Kuziemska i Kalembasa [1997] stwierdzili, że wapnowanie gleby przyczyniło się do spadku zawartości kadmu w kukurydzy, jęczmieniu, pszenicy i koniczynie czerwonej, Zaniewicz-Bajkowska i in. [2007] natomiast wykazali znaczne zmniejszenie zawartości kadmu w selerze korzeniowym i porze.

Obliczone wartości współczynnika akumulacji kadmu dla korzeni spichrzowych (średnio 0,93) oraz liści buraka ćwikłowego (średnio 1,10) wskazują, że zawartość tego metalu w częściach jadalnych buraka ćwikłowego może dorównywać, a nawet przekraczać jego koncentrację w glebie (tab. 2). Pod wpływem wapnowania wskaźnik akumulacji kadmu w korzeniach zmniejszył się z 0,97 do 0,89; a w liściach z 1,14 do 1,05.

Testowane odmiany buraka ćwikłowego nie różniły się pod względem zawartości kadmu w korzeniach spichrzowych i liściach. Przeciwnie rezultaty badań uzyskali Kurdubaska i Tyksiński [2000], którzy stwierdzili istotne różnice odmianowe w zawartości kadmu w sałacie i rzodkiewce, Kalisz i in. [2001] w kapuście pekińskiej oraz Zaniewicz-Bajkowska [2005] w trzech odmianach selera korzeniowego.

4. WNIOSKI

1. Pod wpływem wapnowania stężenie dostępnych dla roślin form kadmu w roztworze glebowym oraz wskaźnik jego rozpuszczalności uległy istotnemu zmniejszeniu.
2. Korzenie spichrzowe i liście buraka ćwikłowego uprawianego na glebie wapnowanej zawierały istotnie mniej kadmu od części jadalnych buraka uprawianego na glebie niewapnowanej. Pomimo to zawartość kadmu w częściach jadalnych buraka przekraczała wartość dopuszczalną.
3. W liściach buraka ćwikłowego stwierdzono większą zawartość kadmu niż w korzeniach spichrzowych. Różnica w zawartości kadmu wynikała zapewne z ekspozycji liści na zanieczyszczenia opadające na ich powierzchnię i pobieranie kadmu bezpośrednio z zanieczyszczających liście pyłów.
4. Nie stwierdzono istotnych różnic odmianowych w zawartości kadmu w częściach jadalnych buraka ćwikłowego.

PIŚMIENNICTWO

- ALLOWAY B.J., AYRES D.C. 1999. Chemiczne podstawy zanieczyszczenia środowiska. PWN, Warszawa.
- BARAN S., MARTYN W., BOJARSKI J. 1998. Wpływ wermikompostu z osadu ściekowego i węgla wapnia na migrację metali ciężkich do łańcucha troficznego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 461: 111–120.
- BLAKE L., GOULDING K.W.T. 2002. Effects of atmospheric deposition, soil pH and acidification on heavy metal contents in soils and vegetation of semi-natural ecosystems at Rothamsted Experimental Station, UK. *Plant and Soil* 240: 235–251.
- CHANEY R.L., CLAPP C.E., LARSON W.E., DOWODY R.H. 1994. Trace metal movement: soil-plant systems and bioavailability of biosolids-applied metals. *Sewage sludge: land utilization and the environment*. Sheraton Airport Inn., Bloomington; MN USA: 27–31.
- CHŁOPECKA A., BACON J.R., WILSON M.J., KAY I. 1996. Forms of cadmium, lead and zinc in soils from Southwest Poland. *J. Environ. Qual.* 25: 69–79.
- CREWS H.M., DAVIES B.E. 1985. Heavy metal uptake from contaminated soils by six varieties lettuce (*Lactuca sativa* L.). *J. Agric. Sci. Camb.* 105: 591–595.
- GALLER J. 1992. Schwermetalltransfer in der Nahrungskette. *Der Forderungsdienst* 9: 91–68.
- GĘBSKI M. 1998. Czynniki glebowe oraz nawozowe wpływające na przyswajanie metali ciężkich przez rośliny. *Post. Nauk Rol.* 5: 3–16.
- GORLACH E. 1995. Metale ciężkie jako czynnik zagrażający żyzności gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 421a: 113–122.
- JACKSON A.P., ALLOWAY B.J. 1991. Bioavailability of cadmium to lettuce and cabbage in soils previously treated with sewage sludges. *Plant and Soil* 132/2: 179–186.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1993. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa.
- KALISZ A., CEBULA S., SIWEK P. 2001. Wpływ osłaniania roślin oraz ściółkowania gleby na zawartość niektórych składników w główkach kilku odmian kapusty pekińskiej. *Mat. Konf. Ogólnop. Konf. Nauk. nt. Biologiczne i agrotechniczne kierunki rozwoju warzywnictwa*. I. W. Skierniewice 21–22 czerwca 2001: 137–138.
- KANIUCZAK J. 2004. Wpływ wapnowania i nawożenia mineralnego na zawartość kadmu w bulwach ziemniaków uprawianych w zmianowaniu. *Ann. UMCS, Sec. E* 59, 3: 1355–1361.
- KUZIEMSKA B., KALEMBASA S. 1997. Wpływ wapnowania, dawki i rodzaju osadów ściekowych oraz nawożenia NPK na plon, skład chemiczny roślin i gleby. Cz. III. Zawartość wybranych metali ciężkich w materiale roślinnym. *Arch. Ochr. Środ.* 1–2: 127–138.
- MACIEJEWSKA A., SKŁODOWSKI P. 1995. Wpływ emisji spalin samochodowych na skażenie gleb związkami ołowiu, cynku i kadmu przy trasie Warszawa-Katowice. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 418: 271–280.

- MIROŚLAWSKI J., KWAPULIŃSKI J., ROCHEL R., BRODZIAK B., PAUKSZTO A., PSONKA J. 2000. Kadm w roślinach leczniczych w warunkach wtórnego pylenia. Zesz. Nauk. Kom. „Człowiek i Środowisko” PAN 26: 185–192.
- NIEMYSKA-ŁUKASZUK J. 1995. Wpływ składu granulometrycznego i odczynu gleby na zawartość przyswajalnych form metali ciężkich. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 418: 459–464.
- NOWAKOWSKI W., PODGÓRSKI M. 1986. Reakcja siewek trzech odmian pszenicy jarej na Cd i Pb w warunkach słabo kwaśnego odczynu podłoża. Arch. Ochr. Środ. 3/4: 141–157.
- PIEKARSKI W. 1996. Ekologiczne aspekty użytkowania paliw i cieczy eksploatacyjnych w rolnictwie. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 443: 151–158.
- PUSCHENREITER M., HORAK O., FRIESL W., HARTL W. 2005. Low-cost agricultural measures to reduce heavy metal transfer into food chain – a review. Plant, Soil and Environ. 51: 1–11.
- Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 11 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków, jakie muszą być spełnione przy wykorzystywaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe.** Dz.U. 1999 r. Nr 72, poz. 813.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 stycznia 2003 r. w sprawie maksymalnych poziomów zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych, które mogą znajdować się w żywności, składnikach żywności, dozwolonych substancjach dodatkowych, substancjach pomagających w przetwarzaniu albo na powierzchni żywności.** Dz.U. Nr 37, poz. 326.
- SAUERBECK D.R. 1991. Plant, element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge. Water Air and Soil Pollut. 57–58: 227–237.
- YOUNG D.S., TYE A., CARSTENSEN A., RESENDE L., CROUT N. 2000. Methods for determining labile cadmium and zinc in soil. Europ. J. Soil Sci. 51(1): 129–136.
- ZANIEWICZ-BAJKOWSKA A., FRAN CZUK J., ROSA R., OLSZEWSKI W., ŁUGOWSKI T. 2005. Poplonowe nawozy zielone i słoma w uprawie selera korzeniowego. Cz. II. Zawartość kadmu w liściach i korzeniach spichrzowych. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Rolnictwo LXXXVI, 515: 577–584.
- ZANIEWICZ-BAJKOWSKA A., ROSA R., FRAN CZUK J., KOSTERNA E. 2007. Direct and secondary effect of liming and organic fertilization on cadmium content in soil and in vegetables. Plant Soil Environ. 53(11): 473–481.