

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa  
ul. Czarzoryskich 8, 24-100 Puławy, Poland

Jerzy Grabiński, Tomasz Stuczyński

**Pobieranie kadmu przez odmiany pszenicy ozimej i jarej  
w zależności od formy chemicznej nawozu potasowego**

---

Cadmium uptake of winter and spring wheat cultivars depending on the chemical form  
of potassium fertilizer

ABSTRACT. The aim of the studies was to define the differences between wheat cultivars (both winter and spring forms) in cadmium uptake depending on potassium fertilizer form and soil contamination level. The experiments were set up in plastic pots in four replications. The pots were filled up with 9 kg of soil. Four spring wheat cultivars (Eta, Hera, Igna, Sigma) and four winter wheat cultivars (Jawa, Mikon, Olcha, Wilga) were grown. Three forms of potassium fertilizer (KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) were taken into consideration. Two independent experiments were conducted: on uncontaminated soil and on the soil contaminated with 4 mg Cd kg<sup>-1</sup>. NPK fertilization doses amounted to 2.4, 0.9, and 2.4 g per pot, respectively. The soil was polluted by CdSO<sub>4</sub> addition. Concentration of Cd in grain was measured using flame atomic absorption spectroscopy (AAS). The accumulation of cadmium in grain of spring and winter wheat was significantly differentiated by potassium fertilizer form. Under KCl fertilization soil cadmium content in spring wheat grain on uncontaminated was twice as high as after K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> fertilization. On the soil contaminated with CdSO<sub>4</sub> the cadmium content in grain was on the same level under K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and KCl fertilization, but significantly higher than after KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> application. The wheat cultivars differed significantly in cadmium uptake. A soil higher trace element content was found on the uncontaminated in 'Eta' and 'Sigma' cultivars, independently of potassium fertilizer form. A significant interaction between cultivars and potassium fertilizer form was found. For example, cultivars 'Eta' and 'Sigma' accumulated Cd more intensively under KCl fertilization than 'Hera' and 'Igna' cultivars.

KEY WORDS: cadmium, wheat, winter and spring forms, grain, cultivars, potassium fertilization

Kadm jest pierwiastkiem, którego obecność w łańcuchu pokarmowym ludzi może powodować szereg niekorzystnych zmian w organizmie [Nath i in. 1984]. Dlatego też, Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) wraz ze Światową Organizacją Wyżywienia umieściły go w wąskiej grupie pierwiastków najbardziej szkodliwych dla życia ludzi i określiła dzienny limit spożycia na 70  $\mu\text{g}$  Cd [Chaudri i in. 2001].

Podstawowym źródłem kadmu dla człowieka jest ziarno zbóż. Jak podaje Hutton [1982], w krajach Unii Europejskiej aż 30–40% kadmu w pokarmie człowieka pochodzi z przetworów zbożowych. Stąd też w wielu krajach wprowadzono w obrocie handlowym zbożami limity zawartości omawianego pierwiastka [National Food Authority. 1993. National Food Authority food standards code. Aust. Gov. Print. Serv., Cannberra, Australia; Bundesgesundheitsamt. 1986. Richtwerte 86 Fur Blei, Cadmium und Quecksilber in und auf Lebensmitteln. Bundesgesundheitsblatt 29, 22–23]. W Unii Europejskiej limit ten został określony dla ziarna pszenicy na poziomie 0,2 mg  $\text{kg}^{-1}$  [Commission of the European Communities. Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Commission Regulation 466, 2001. Official J. Eur. Communities L 77, 1–13].

O ilości kadmu pobranego przez zboża decyduje nie tylko zawartość tego pierwiastka w glebie, ale także szereg czynników związanych z technologią produkcji. W szczególności duże znaczenie ma wybór odmiany, na co zwrócili uwagę niektórzy badacze [Greger, Lofstedt 2004]. Gray i McLaren [2001] stwierdzili, że różnice w zawartości kadmu między odmianami pszenicy uprawianymi w Nowej Zelandii mogą być nawet kilkakrotne. Dało to tym autorom podstawę do wysunięcia wniosku, że jest możliwe wyselekcjonowanie odmian przydatnych do uprawy w rejonach, w których zwykle przekraczana jest dopuszczalna zawartość kadmu w ziarnie.

Do czynników silnie oddziałujących na pobieranie kadmu zaliczono także niektóre właściwości gleby, a w szczególności zawartość w roztworze glebowym jonów  $\text{Cl}^-$ , które decydują o zwiększeniu dostępności kadmu dla systemu korzeniowego uprawianej rośliny [McLaughlin i in. 1994; Norvell i in. 2000].

Celem badań było określenie roli czynnika genetycznego (odmiany) w kształtowaniu zawartości kadmu w ziarnie pszenicy ozimej i jarej oraz określenie roli, jaką pod tym względem może odegrać forma chemiczna nawozu potasowego, a w szczególności najpopularniejszy nawóz tego rodzaju – chlorek potasu.

#### METODY

Materiał do badań stanowiło ziarno pszenicy ozimej i jarej, uzyskane z doświadczeń wazonowych przeprowadzonych w latach 1996–1997 w wazonach

plastikowych wypełnionych 9 kg gleby o składzie granulometrycznym piasku gliniastego mocnego pylastego, o uregulowanym odczynie (pH 6,6) i wysokiej zasobności w fosfor, potas i magnez. Schemat doświadczeń był następujący:

1. Pszenica jara. Czynniki I – odmiany Eta, Hera, Igna, Sigma. Czynniki II – formy nawozu potasowego: fosforan potasu, siarczan potasu, chlorek potasu.
2. Pszenica ozima. Czynniki I – odmiany Jawa, Mikon, Olcha, Wilga. Czynniki II – formy nawozu potasowego: siarczan potasu, chlorek potasu.

Doświadczenie z formą ozimą i jarą pszenicy zostało przeprowadzone przy dwóch poziomach zawartości kadmu w glebie naturalnej (śladowe ilości) i średnim zanieczyszczeniu uzyskanym poprzez dodanie kadmu w ilości  $4 \text{ mg Cd kg}^{-1}$  gleby w formie  $\text{CdSO}_4$ . W przeliczeniu na 1 wazon stosowano 0,99 g fosforu oraz 2,43 g potasu u obu form niezależnie od poziomu kadmu w glebie. Nawożenie azotem stosowano w 2 dawkach:  $1,2 \text{ g N wazon}^{-1}$  przedsiwnie (pszenica jara) bądź w czasie ruszenia wegetacji (pszenica ozima) oraz  $1,2 \text{ g N wazon}^{-1}$  w fazie strzelania w źdźbło (obie formy). Ziarno zbierano po osiągnięciu dojrzałości pełnej i poddawano analizie na zawartość kadmu metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej płomieniowej (AAS).

#### WYNIKI

Zawartość kadmu w ziarnie pszenicy jarej zależała istotnie od formy chemicznej nawozu potasowego. Na glebie niezanieczyszczonej kadmem nawożenie chlorkiem potasu prowadziło do prawie dwukrotnego wzrostu zawartości kadmu w ziarnie w porównaniu z obiektami nawożonymi siarczanem potasu, czy fosforanem potasu (tab. 1). Zjawisko zwiększonej akumulacji Cd w tych obiektach można tłumaczyć powstawaniem w glebie kompleksowych anionów chlorkowo-kadmowych, o stosunkowo dużej rozpuszczalności i dobrej dostępności dla roślin [Smolders i in. 1998; Mc Laughlin i in. 1999]. W warunkach zanieczyszczenia gleby łatwo rozpuszczalnymi związkami kadmu najniższą zawartość tego pierwiastka w ziarnie pszenicy jarej stwierdzono w przypadku stosowania nawożenia potasem w formie fosforanowej (tab. 1). Może to mieć związek z unieruchomianiem kadmu w wyniku tworzenia nierozpuszczalnych fosforanów. Natomiast poziom zawartości kadmu w obiektach nawożonych siarczanem potasu i chlorkiem potasu był wyższy o 42–53% niż w obiekcie nawożonym fosforanem potasu.

Wpływ formy nawozu potasowego na zawartość kadmu w ziarnie pszenicy ozimej wysianej na glebie niezanieczyszczonej był podobny jak u pszenicy jarej, tzn. o 80% większą zawartość tego pierwiastka zaobserwowano w obiektach nawożonych chlorkiem potasu niż siarczanem potasu (tab. 2). Podobna tenden-

Tabela 1. Zawartość kadmu w ziarnie pszenicy jarej w zależności od uprawnej odmiany oraz formy nawożenia potasem

Table 1. The Cd content in grain of spring wheat depending on cultivars and potassium fertilizer form

| Obiekt Treatment  | Gleba niezanieczyszczona<br>Uncontaminated soil | Gleba słabo zanieczyszczona<br>Medium contaminated soil |
|---|---|---|
| Formy nawozu potasowego Form of potassium fertilizer  |   |   |
| KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>   | 0,13a*  | 1,64a   |
| K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>  | 0,11a   | 2,51b   |
| KCl   | 0,23b   | 2,33b   |
| Odmiana Cultivar  |   |   |
| Eta   | 0,18b   | 1,94a   |
| Hera  | 0,13a   | 2,33b   |
| Igna  | 0,13a   | 2,41b   |
| Sigma   | 0,19b   | 1,96a   |
| Interakcja: odmiana × forma nawożenia potasem<br>Interaction: cultivar × form of potassium fertilizer |   |   |
| Eta × KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>   | 0,12a   | 1,51a   |
| Hera × KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>  | 0,12a   | 1,66a   |
| Igna × KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>  | 0,14a   | 1,85a   |
| Sigma × KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>   | 0,13a   | 1,55a   |
| Eta × K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>  | 0,14a   | 2,22a   |
| Hera × K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>   | 0,11a   | 3,17b   |
| Igna × K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>   | 0,11a   | 2,63b   |
| Sigma × K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>  | 0,10a   | 2,03a   |
| Eta × KCl   | 0,28b   | 2,11a   |
| Hera × KCl  | 0,15a   | 2,15a   |
| Igna × KCl  | 0,14a   | 2,76b   |
| Sigma × KCl   | 0,34c   | 2,31a   |

\*Wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie Values marked with the same letter do not differ significantly

cja utrzymała się także na glebie zanieczyszczonej kadmem, ale różnica była w tym przypadku mniejsza (37%). Uzyskane wyniki potwierdziły istotną rolę chlorków w kształtowaniu bioprzyswajalności kadmu, zauważoną w badaniach przez McLaughlina i in. [1994] czy Norvella i in. [2000] oraz wskazały na zasadność ograniczania nawożenia w formie KCl w takich warunkach, w których pobieranie kadmu powoduje przekroczenie ustalonej normy.

Stwierdzono istotne różnice pomiędzy odmianami w zakresie zawartości kadmu w ziarnie. Na glebie „czystej”, niezależnie od formy chemicznej nawozu potasowego istotnie mniejszą zawartością kadmu wykazywały się odmiany Hera i Igna (38–46% mniej) niż odmiany Eta czy Sigma (tab. 1). W obiektach z glebą zanieczyszczoneą kadmem różnice między odmianami w ilości pobranego kadmu były mniejsze (nieco ponad 20%), przy czym odwrotnie niż w obiektach z glebą niezanieczyszczoneą, niższą zawartość kadmu stwierdzono u odmian Eta i Sigma. Na różnice w ilości akumulowanego kadmu w ziarnie zwracało uwagę kilku

autorów: Gray i McLaren [2001] czy Norvell i in. [2000]. Jednak w wymienionych pracach różnice te były znacznie większe niż te, które uzyskano w prezentowanych badaniach. Wyniki sugerują, że zmienność w pobieraniu kadmu wśród odmian zarejestrowanych w Polsce jest stosunkowo niewielka.

Różnice w zawartości kadmu pomiędzy odmianami pszenicy ozimej były istotne tylko w warunkach gleby zanieczyszczonej, co wyrażało się istotnie niższą zawartością kadmu w ziarnie odmiany Jawa (tab. 2).

Zastanawiające jest to, że zwiększone pobieranie kadmu w warunkach stosowania nawozu potasowego w formie chlorkowej nie dotyczyło wszystkich odmian w jednakowym stopniu, np. odmiany Hera i Igna (forma jara) na glebie o naturalnej zawartości Cd charakteryzowały się tylko nieco podwyższoną zawartością kadmu w stosunku do obiektów nawożonych siarczanem potasu, podczas gdy odmiana Eta zawierała około dwukrotnie, a odmiana Sigma prawie 2,5-krotnie więcej kadmu niż wymienione odmiany (tab. 1).

Odmiany pszenicy ozimej reagowały podobnie na poszczególne formy nawozu potasowego (brak istotnych różnic) w warunkach gleby niezanieczyszczonej. Natomiast w obiektach, w których glebę zanieczyszczono  $\text{CdSO}_4$ , po zasto-

Tabela 2. Zawartość kadmu w ziarnie pszenicy ozimej w zależności od uprawnej odmiany oraz formy nawożenia potasem

Table 2. The Cd content in grain of winter wheat depending on cultivars and potassium fertilizer form

| Object Treatment  | Gleba niezanieczyszczona<br>Uncontaminated soil | Gleba słabo zanieczyszczona<br>Medium contaminated soil |
|---|---|---|
| Formy nawozu potasowego Form of potassium fertilizer  |   |   |
| $\text{K}_2\text{SO}_4$   | 0,10a   | 2,03a   |
| KCl   | 0,18b   | 2,80b   |
| Odmiana Cultivar  |   |   |
| Jawa  | 0,14a   | 2,18a   |
| Mikon   | 0,14a   | 2,50b   |
| Olcha   | 0,14a   | 2,48b   |
| Wilga   | 0,14a   | 2,48b   |
| Interakcja: odmiana × forma nawożenia potasem<br>Interaction: cultivar × form of potassium fertilizer |   |   |
| Jawa × $\text{K}_2\text{SO}_4$  | 0,11a   | 1,79a   |
| Mikon × $\text{K}_2\text{SO}_4$   | 0,09a   | 2,08b   |
| Olcha × $\text{K}_2\text{SO}_4$   | 0,11a   | 2,11b   |
| Wilga × $\text{K}_2\text{SO}_4$   | 0,11a   | 2,14b   |
| Jawa × KCl  | 0,18a   | 2,57c   |
| Mikon × KCl   | 0,19a   | 2,93d   |
| OLcha × KCl   | 0,17a   | 2,86d   |
| Wilga × KCl   | 0,18a   | 2,83d   |

\*Wartości oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie Values marked with the same letter do not differ significantly

sowaniu obu form nawozu istotnie niższą zawartość Cd stwierdzono w ziarnie odmiany Jawa (tab. 2). Wydaje się, że różnice międzyodmianowe w ilości akumulowanego kadmu w ziarnie związane są z cechami odpowiedzialnymi za walory decydujące o ich przydatności do celów piekarniczych. Autorzy zwrócili na to wcześniej uwagę w komunikacie na konferencji ESA w 2002 roku w Cordobie [Grabiński, Stuczyński 2002].

#### WNIOSKI

1. Nawożenie potasem w formie KCl powodowało istotne zwiększenie zawartości kadmu w ziarnie pszenicy jarej i ozimej.
2. Ilość kadmu akumulowanego w ziarnie pszenicy ozimej i jarej istotnie zależała od czynnika genetycznego (odmiany).

#### PIŚMIENNICTWO

- Chaudri A.M., Allain C.M.G., Badawy S.H., Adams M.L., McGrath S.P., Chambers B.J. 2001. Cadmium content of wheat grain from a long term field experiment with sewage sludge. *J. Environ. Quality* 30, 1575–1580.
- Grabiński J., Stuczyński T. 2002. Cadmium uptake depends on grain quality. VII Congress of ESA Book of Proceeding.
- Gray C.W., McLaren R.G. 2001. Cadmium concentration in some New Zealand wheat grain. *New Zealand Crop Hort. Sci.* 29, 125–136.
- Greger M., Lofstedt M. 2004. Comparison of uptake and distribution of cadmium in different cultivars of bread and durum wheat. *Crop Sci.* 44, 501–507.
- Hutton M. 1982. Cadmium in the European Community: A prospective assessment of sources, human exposure and environmental impact. *Monitoring and Assessment Res. Centre. Tech. Rep.*, 26, Univ. of London, London, UK.
- McLaughlin M.J., Maier N.A., Correl R.L., Smart M.K., Sparrow L.A., McKay A. 1999. Prediction of cadmium concentration in potato tubers (*Solanum tuberosum L.*) by pre-plant soil and irrigation water analyses. *Australian J. Soil Res.* 37, 191–207.
- McLaughlin M.J., Palmer L.T., Tiller K.G., Beech T.A., Smart M.K. 1994. Increased soil salinity causes elevated cadmium concentration in field-grown potato tubers. *J. Environ. Qual.* 23, 1013–1018.
- Nath R., Prasad R., Palinal V.K., Chopra R.K. 1984. Molecular basis of cadmium accumulation. *Progr. in Food Nutr. Sci.* 18, 109–163.
- Norvell W.A., Wu J., Hopkins D.G., Welch R.M. 2000. Association of cadmium in durum wheat grain with soil chloride and chelate-extractable soil cadmium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 2162–2168.
- Smolders E., Lambregts R.M., McLaughlin M.J., Tiller K.G. 1998. Effect of soil solution chloride on cadmium availability to Swiss Chard. *J. Environ. Qual.* 27, 426–431.