

WPLYW JONÓW KADMU NA POZORNĄ POWIERZCHNIĘ WŁAŚCIWĄ
KORZENI JĘCZMIENIA (*HORDEUM VULGARE*. L)

Natalia Hrebela^{1*}, Alicja Szatanik-Kloc², Zofia Sokołowska²

¹Wydział Ekologii i Biologii, Lwowski Uniwersytet Rolniczy w Dublanach
ul. V. Velukogo 1, Ukraina

²Institut Agrofizyki PAN im. Bohdana Dobrzańskiego, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: a.kloc@ipan.lublin

Streszczenie. Celem przeprowadzonych badań było, określenie wpływu intensywności (stężenia) i czasu trwania stresu kadmowego na zmianę pozornej powierzchni właściwej korzeni. W badaniach wykorzystano korzenie jęczmienia jarego odmiany Pejas. Rośliny pochodziły ze stacji badawczej w Dublanach, stanowiącej obiekt doświadczalny Uniwersytetu Rolniczego we Lwowie. Do gleby (czarnoziem leśno-stepowy, wylugowany, wytworzony z lessu) dodano kadm jako CdCl₂ w stężeniach 0, 3, 15, 30 mg·kg gleby. Pozorną powierzchnię właściwą wyznaczano z izoterm adsorpcji (w oparciu o teorię BET), dla korzeni zebranych w fazie wschodów i w fazie pełnej dojrzałości. Pod wpływem jonów Cd⁺² pozorna powierzchnia właściwa zmniejszyła się. Zaobserwowano że, dla korzeni w fazie wschodów najbardziej istotne zmniejszenie się powierzchni nastąpiło przy stężeniu Cd⁺² 3 mg·kg gleby. Zdecydowanie bardziej istotne zmiany powierzchni właściwej (bez względu na nasilenie stresu) odnotowano dla korzeni zebranych w fazie pełnej dojrzałości. Czas trwania stresu istotnie wpłynął na zmiany powierzchni właściwej. Związane jest to prawdopodobnie ze zmianami procesów fizjologicznych w roślinie pod wpływem stresu, a także z mechanizmami tolerancji na stres kadmowy.

Słowa kluczowe: kadm, korzenie jęczmienia, pozorna powierzchnia właściwa

WSTĘP

Naturalna zawartość kadmu w glebach zależy w dużym stopniu od występowania tego metalu w skałach macierzystych. Duży wpływ czynników antropoge-

*Stypendystka projektu Interregionalnego Centrum Edukacji w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie, współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu sąsiedztwa Polska-Białoruś-Ukraina INTERREG IIIA/TACIS CBS 2004-2006.

nicznych (odpady komunalne, nawozy fosforowe, pyły hut metali niezależnych) spowodował, że jest to obecnie metal najbardziej wzbogacony w glebach. Ponadto kadm wykazuje dużą mobilność, która wzmaga się wraz ze spadkiem pH gleby, niezależnie od jej typu (Japony i Young 1994, Kabata-Pendias i Pendias 1999, Alcantara i in. 2001, Appel i Ma 2002). Rośliny przyswajają kadm stosunkowo łatwo (głównie przez korzeń) bez względu na właściwości gleby, a więc wprost proporcjonalnie do jego stężenia w roztworze glebowym (Wójcik i Tukiendorf 2005). Łatwo również transportują jony kadmu do części nadziemnych. Niemniej jednak przy dużych stężeniach kadmu w roztworze glebowym kumuluje się on głównie w korzeniach roślin. Zawartość kadmu w roślinach jest bardzo zróżnicowana, najczęściej wynosi ona w częściach nadziemnych $0,05-0,2 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ suchej masy. Przy czym w korzeniach jest go od kilku do kilkunastu razy więcej. Fitotoksyczne koncentracje określane są dla roślin wrażliwych na $5-10 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ suchej masy, dla roślin odpornych $10-30 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (Kabata-Pendias i Pendias 1999). Zanieczyszczenie gleb kadmem jest istotnym zagrożeniem skażenia roślin. Większość roślin wykazuje dużą tolerancję na ten metal i to właśnie ze względu na nią, a także z uwagi na wyjątkową łatwość biokumulacji, kadm stanowi wyjątkowe szkodliwe źródło, zarówno dla zwierząt jak i człowieka. Stres związany z fitotoksycznością metali ciężkich (a więc i kadmu) w środowisku roślinnym tj. roztworze glebowym lub pożywcze wpływa na zmiany procesów metabolicznych i fizjologicznych w roślinie, a także na jej zmiany anatomiczne i morfologiczne. Zmiany te z reguły wpływają również na zmianę powierzchni właściwej korzeni.

Wielkość powierzchni właściwej jest jedną z wielkości fizykochemicznych, charakteryzujących sorpcję i transport wody oraz makro i mikroelementów, a także pierwiastków toksycznych przez korzeń. Do pomiarów naturalnych powierzchni heterogenicznych wykorzystuje się najczęściej jedną z metod sorpcyjnych mianowicie, metodę adsorpcji-desorpcji pary wodnej (polarnego adsorbentu) lub azotu (niepolarnego adsorbentu).

Reakcja roślin na stres zależna jest od odporności roślin, czasu trwania stresu oraz jego nasilenia. Celem przeprowadzonych badań było, określenie wpływu intensywności (stężenia) i czasu trwania stresu kadmowego na zmianę pozornej powierzchni właściwej¹, wyznaczanej z izoterm adsorpcji pary wodnej.

¹Pojęcie „powierzchnia właściwa” (surface area) stosowane jest dla powierzchni heterogenicznych o wyraźnie zaznaczonej różnicy pomiędzy procesem adsorpcji a procesem absorpcji (np. gleb mineralnych). Dla adsorbentów organicznych granica pomiędzy tymi procesami jest trudna do oznaczenia. Dlatego też Chiou i współautorzy (1990) zaproponowali w przypadku adsorbentów organicznych stosowanie zamiast terminu *surface area* (powierzchnia właściwa) terminu *apparent surface area* (pozorna powierzchnia właściwa) dla powierzchni oznaczanych polarnym adsorbentem (parą wodną). Dlatego też w pracy stosowano termin pozorna powierzchnia właściwa w odniesieniu do korzeni (adsorbentu organicznego).

MATERIAŁ I METODY

W badaniach wykorzystano korzenie jęczmienia jarego odmiany Pejas. Rośliny pochodziły ze stacji badawczej w Dublinach, stanowiącej obiekt doświadczalny Uniwersytetu Rolniczego we Lwowie. Obszar ok. 300 m² gleby (czarnoziem leśno-stepowy, wylugowany, wytworzony z lessu) podzielono na 21 poletek doświadczalnych wielkości około 2 m². Na trzech poletkach wysiano jęczmień, który stanowił wariant kontrolny (bez czynnika stresowego). Rośliny jęczmienia pobrano w różnych fazach rozwoju: w fazie wschodów (z jednego poletka), kolejne w fazie kwitnienia (z drugiego poletka) i z trzeciego poletka pobrano rośliny jęczmienia w fazie pełnej dojrzałości. Na dziewięciu poletkach również wysiano jęczmień i dodano do gleby kadm jako roztwór CdCl₂ w stężeniach 3, 15, 30 mg·kg gleb, po 3 poletka na każdy wariant stężenia, na pozostałych 9 poletkach czynnik stresowy stanowił ołów, który nie jest przedmiotem niniejszej pracy (Sokołowska i in. 2007). Rośliny jęczmienia z tych poletek doświadczalnych pobrano analogicznie jak dla wariantu kontrolnego. Do określenia wpływu jonów Cd²⁺ na zmiany powierzchni właściwej użyto korzeni jęczmienia w fazie wschodów i w fazie pełnej dojrzałości. Pozorną powierzchnię właściwą badanych korzeni wyznaczano z izoterm adsorpcji pary wodnej. Pomiar izoterm adsorpcji pary wodnej na korzeniach przeprowadzono zgodnie z Polską Normą PN-Z-19010-1. Ponieważ norma ta dotyczy gleb, metoda wyznaczania powierzchni właściwej dla korzeni roślin wymagała adaptacji, głównie dotyczących masy próbki, wstępnego jej dosuszenia i czasu ustalania się równowagi adsorpcyjnej. W oparciu o badania prezentowane w pracach Szatanik-Kloc (2000, 2006), pomiar izoterm adsorpcji na korzeniach jęczmienia, wykorzystanych w niniejszych badaniach przeprowadzono następująco: wstępnie suszony w temperaturze 303K przez 48 godzin i rozdrobniony materiał korzeniowy o masie 0,3 g umieszczono w szczelnych naczynkach wagowych. Następnie naczynka wagowe z próbką postawiono w komorze próżniowej, w temperaturze 293 K, nad roztworami kwasu siarkowego o kolejno malejącej, a następnie rosnącej gęstości (wzrost i spadek względnej prężności pary wodnej). Masę wilgotnych próbek określono poprzez ważenie, natomiast względną prężność pary wodnej w komorze, p/p_0 , poprzez pomiary gęstości kwasu siarkowego. Ilość zaadsorbowanej przez korzenie pary wodnej przy danym p/p_0 obliczono z różnicy masy próbki wilgotnej (mierzonej przy danych p/p_0) i suchej masy danej próbki. Suchą masę określono po 24 godzinach suszenia próbek w temperaturze 378 K.

Do opisu danych doświadczalnych zastosowano model adsorpcji BET (Brunauer i in. 1938, Ościk 1983). Izoterma adsorpcji BET, w postaci liniowej wyraża się równaniem:

$$y/a = 1/(a_m C) + x(C - 1)/(a_m C) \quad (1)$$

gdzie $y = x/(1-x)$, $x = p/p_o$, p_o (Pa) jest względną prężnością pary wodnej, a_m (kg kg^{-1}) jest ilością zaadsorbowanego adsorbentu przy określonej prężności pary wodnej, w danej temperaturze T (K). $C = \exp[-(E_a - E_c)/RT]$ jest stałą w równaniu przy E_a energii adsorpcji i E_c energii kondensacji i stałej gazowej RT . Równanie BET wyprowadzone było w oparciu o model adsorpcji zlokalizowanej na powierzchni homogenicznej. Model ten zakłada tworzenie się wielocząsteczkowych warstw adsorpcji. Równanie to obejmuje zakres względnych ciśnień adsorbentu p/p_o od 0,05 do 0,35. Na podstawie równania (1) wyznaczono statystyczną pojemność monowarstwy w oparciu, o którą obliczono pozorną powierzchnię właściwą korzeni S z równania:

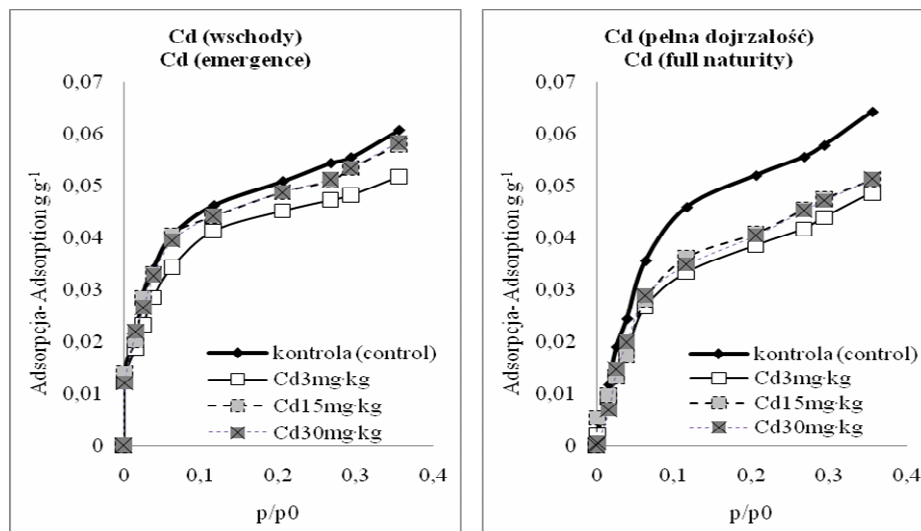
$$S = L\omega a_m/M, \quad (2)$$

gdzie; $\omega = 1,08 \cdot 10^{-19}$ jest powierzchnią zajmowaną przez jedną molekułę pary wodnej, L (mol^{-1}) to liczba Avogadro, M ($\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$) masa cząsteczkowa jednej molekule pary wodnej.

Zawartość kadmu w korzeniach jęczmienia wyznaczono metodą AAS (Perkin-Elmer model 3300), po wstępnej mineralizacji próbek korzeniowych, na sucho w piecu muflowym typ FCF 12 SP.

WYNIKI I DYSKUSJA

Na rysunku 1 przedstawiono początkowe fragmenty izoterm adsorpcji pary wodnej na korzeniach jęczmienia. Jak wynika z analizy tego rysunku, pod wpływem stresu kadmowego zmniejszyła się ilość zaadsorbowanej pary wodnej na badanych korzeniach. Przedłużający się stres kadmowy (korzenie zebrane w fazie pełnej dojrzałości) zdecydowanie bardziej wyraźnie obniżył adsorpcję pary wodnej w porównaniu z korzeniami, których wzrost i rozwój odbywał się bez czynnika stresowego, a także w porównaniu do korzeni zebranych w fazie wschodów. Obliczona w oparciu o dane sorpcyjne pozorną powierzchnię właściwą (tab. 1) korzeni zebranych w fazie pełnej dojrzałości, również wyraźnie zmniejszyła się dla korzeni stresowanych jonami kadmu (w odniesieniu do korzeni kontrolnych i zebranych w fazie wschodów). Przy czym nie odnotowano istotnych zmian pozornej powierzchni właściwej pomiędzy korzeniami zebranymi w fazie pełnej dojrzałości, przy różnym nasileniu stresu (tab. 2). Dla korzeni młodszych roślin (faza wschodów) największy wpływ na zmniejszenie się pozornej powierzchni właściwej miały jony kadmu, dodane do gleby w stężeniu $3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Kadm dodany do gleby w wyższych stężeniach, 15 i $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby tylko nieznacznie (na granicy istotności) zmniejszył badaną powierzchnię korzeni jęczmienia Pejas.



Rys. 1. Izotermi adsorpcji pary wodnej dla badanych korzeni jęczmienia (faza wschodów i pełnej dojrzałości). Stężenia kadmu (Cd) - 0, 3, 15, 30 mg·kg gleby

Fig. 1. Water vapor adsorption isotherms for the barley roots studied (stage emergence and full maturity). Cadmium (Cd) concentration - 0, 3, 15, 30 mg kg of the soils

Tabela 1. Pozorna powierzchnia właściwa (S) korzeni jęczmienia, śr. z trzech powtórzeń (± ufność 95%)
Table 1. Apparent surface area (S) of barley roots, average of three replicates (± confidence 95%)

Warianty Treatments	S (m ² ·g ⁻¹) Wschody Emergence	S (m ² ·g ⁻¹) Pełna dojrzałość Full maturity
Cd 0	143,5±0,2	160,9±0,5
Cd 3	124,9±0,5	121,9±0,4
Cd 15	137,9±0,4	132,5±0,7
Cd 30	139±0,3	124.3±0,6

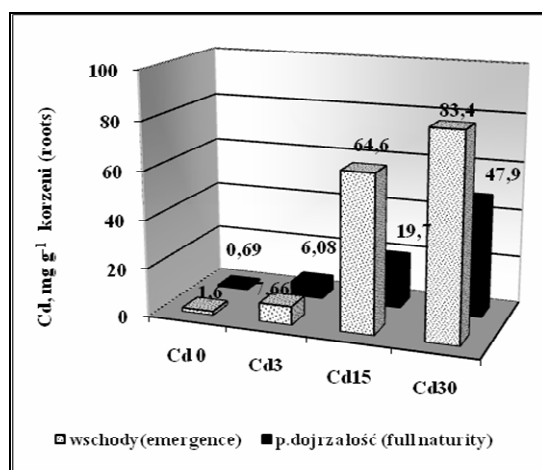
Analiza zawartości jonów kadmu w korzeniach (rys. 2) wykazała, że wzrost stężenia w podłożu tego metalu ciężkiego, spowodował również zwiększenie jego zawartości w korzeniach jęczmienia. Natomiast, w miarę przedłużania się stresu kadmowego, zawartość kadmu w korzeniach zmniejszyła się.

Tabela 2. t-Test (test Studenta): dwuśladowy, typ-2-wariancje ze śr. próby nie różnią się istotnie między sobą (średnie są jednakowe w $\pm 95\%$ przedziale ufności); 1 – prawda, 0 – fałsz

Table 2. t-Test (Student-T): Two-tailed, Type-2- variances for averages of samples do not differ significantly from one another (averages are the same for $\pm 95\%$ of confidence interval); 1 – truth, 0 – false

	S ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)				Wschody Emergence				Pełna dojrzałość Full maturity			
	Cd0	Cd3	Cd15	Cd30	Cd0	Cd3	Cd15	Cd30	Cd0	Cd3	Cd15	Cd30
Cd0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
Cd3	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
Cd15	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
Cd30	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

Zaobserwowano że, zawartość kadmu w korzeniach zebranych w fazie pełnej dojrzałości jest prawie dwukrotnie mniejsza niż w korzeniach roślin zebranych w fazie wschodów (rys. 2). Wynika to z faktu, że kadm wykazuje wyjątkową łatwość w przemieszczaniu się zarówno z gleby do korzenia, jak też z korzenia do części nadziemnych. Stąd też część pobranego z gleby kadmu znalazła się również w masie części nadziemnych a ta zdecydowanie była większa u roślin starszych (pełna dojrzałość).



Rys. 2. Zawartość jonów Cd^{+2} w korzeniach jęczmienia jarego (Pejas)

Fig. 2. Concentration of Cd^{+2} ions in roots of spring barley (Pejas)

Ponadto, jak podaje literatura przedmiotu, u niektórych rośliny wrażliwość na duże dawki kadmu wzrasta wraz z wiekiem. Skórzyńska-Polit i Baszyński

(1997) zaobserwowali że, młode rośliny fasoli skuteczniej chroniły swój aparat fotosyntezy i łatwiej adaptowały się do warunków stresu kadmowego niż rośliny starsze. Koncentracja jonów kadmu w badanych korzeniach jęczmienia, nie jest bezpośrednio związana ze zmianą wielkości pozornej powierzchni właściwej. Współczynnik korelacji Persony pomiędzy pozorną powierzchnią właściwą a zawartością jonów kadmu w korzeniach wynosił dla wschodów $r = 0,27$, a dla fazy pełnej dojrzałości $r = 0,68$. Lepsza korelacja dla korzeni zebranych w fazie pełnej dojrzałości raczej była związana z czasem trwania stresu. Czyli że, wpływ na zaobserwowane zmiany powierzchni właściwej badanych korzeni mają mechanizmy odpornościowe samej rośliny i/lub zmiany fizjologiczne zachodzące w korzeniach pod wpływem fitotoksyczności kadmu.

O poziomie tolerancji danej rośliny w stosunku do określonego metalu, decyduje szereg mechanizmów zaangażowanych w obronę roślin. Z dotychczasowych badań wynika, że głównym mechanizmem obronnym roślin w stosunku do kadmu, jest detoksykacja przy udziale fitochelatyn i akumulacja w ścianie komórkowej (Baranowska-Morek 2003). W niektórych gatunkach roślin akumulacja PCs (fitochelatyny) wyraźnie wzrastała, szczególnie w korzeniach wraz ze wzrostem fitotoksycznych dawek kadmu (Wójcik i in. 2006). Ponadto potencjalnymi ligandami jonów metali mogą być kwasy organiczne (cytrynowy, jabłkowy, szczawioowy). Przypuszcza się, że na fitotoksyczne stężenia kadmu, rośliny reagują zwiększonym wydzielaniem kwasu cytrynowego (Siedlecka i in. 2001). Już uruchamianie samych mechanizmów obronnych w roślinie, może wpływać na zmianę właściwości fizykochemicznych korzenia, takich chociażby jak spadek ładunku powierzchniowego, co prowadzi do zmniejszenia się całkowitej pojemności kationowymiennej, a dalej do ograniczenia pobierania innych kationów, niezbędnych roślinie do prawidłowego funkcjonowania (Szatanik-Kloc i in. 2007). W przypadku kadmu szczególne antagonistyczne interakcje zachodzą pomiędzy Cd i Zn.

Zmiana właściwości fizykochemicznych korzenia, w tym oczywiście powierzchni właściwej pod wpływem fitotoksyczności kadmu, związana jest również ze zmianami morfologicznymi, anatomicznymi i fizjologicznymi jakie zachodzą w roślinie pod wpływem fito stresu kadmowego. Objawy toksyczności nie są specyficzne. Najczęściej należą do nich: skrzywienie liści, plamy chlorotyczne i brunatne liści oraz skrócenie i zgrubienie korzeni. Fizjologiczny efekt nadmiaru kadmu to między innymi zaburzenie fotosyntezy, transpiracji, przemiany związków azotowych a także zmiany przepuszczalności błon komórkowych i struktury DNA (Kabata-Pendias i Pendias 1999). Zarówno, zmiany fizjologiczne zachodzące w roślinie pod wpływem fitotoksyczności kadmu jak i mechanizmy odpornościowe, działające w roślinie (najczęściej jednocześnie, z różną intensywnością, zależną od jej wrażliwości) są ze sobą powiązane i często występują jednocześnie lub jako następstwa wynikające z takiej lub innej reakcji roślin na stres. Bioche-

miczne właściwości jonów kadmu wykazują duże powinowactwo do sulfohydrylowych grup różnych związków, z którymi tworzą połączenia. Ponadto w warunkach stresu powstają fitochelatyny wiążące kadm. Kadm unieruchomiony zostaje również w ścianie komórkowej. To tylko niektóre z mechanizmów tolerancji mogące wpływać na powierzchnię właściwą badanych korzeni jęczmienia. Uwzględniając jeszcze, wyżej wymienione zmiany fizjologiczne związane z przedłużającym się stresem kadmowym możemy przypuszczać, że to jedna lub wszystkie z tych reakcji roślin na fito stres były przyczyną zaobserwowanych zmian pozornej powierzchni właściwej badanych korzeni jęczmienia jarego.

WNIOSKI

1 Pozorna powierzchnia właściwa badanych korzeni jęczmienia jarego odmiany Pejas zmniejszyła się pod wpływem stresu kadmowego. Przy czym istotny wpływ na zmniejszenie się pozornej powierzchni właściwej miał czas trwania stresu.

2 Korzenie jęczmienia zebrane w fazie pełnej dojrzałości zdecydowanie bardziej zmniejszyły swoją pozorną powierzchnię właściwą w porównaniu z korzeniami roślin kontrolnych (bez dodatkowej aplikacji jonów kadmu), a także z korzeniami zebranymi w fazie wschodów (krótszy czas oddziaływania stresu kadmowego).

PIŚMIENNICTWO

- Alcantara A., Ginhaus A. M., Ojeda M. A., Benitez M. J., Benlloch M., 2001. Metal accumulation by different plant species grown in contaminated media. W.J. Horst *et. al.* (Eds.) Plant nutrition – Food security and sustainability of agro-ecosystems, 460-461.
- Appel C., Ma L., 2002. Concentration, pH and surface charge effects on cadmium and lead in three tropical soils. *J. Environ. Qual.* 31, 581-589.
- Baranowska-Morek A., 2003. Roślinne mechanizmy tolerancji na toksyczne działanie metali ciężkich. *Kosmos. Problemy Nauk Biologicznych*, T. 52, Nr 2-3, 283-298.
- Brunauer S., Emmet P.H., Teller E., 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *J. Am. Chem. Soc.* 60: 309-314.
- Chiou C.T., Lee J.F., Boyd S.A., 1990. The surface area of organic matter. *Environ. Sci. Technol.* 24, 1164-1166.
- Japony M., Young S. D., 1994. The solid solution equilibria of lead and cadmium in polluted soils. *Europ. J. Soil Sci.* 84, 121-134.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wydawnictwo PWN, Warszawa.
- Ościł J. 1983. Adsorpcja. PWN Warszawa.
- Polska Norma PN-Z-19010-1, 1997. Jakość gleby. Oznaczenie powierzchni właściwej gleb metodą sorpcji pary wodnej (BET). Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.

- Siedlecka A., Tukiendorf A., Skórzyńska-Polit E., Maksymiec W., Wójcik M., Baszyński T., Krupa Z., 2001. Angiosperms.[W:] Metals in the environment. Analysis by biodiversity. Prasad M. N. V. (red). Marcel Dekker, Inc. New York, Hyderabad, India, 171-217.
- Skórzyńska-Polit E., Baszyński T., 1997. Differences in sensitivity of photosynthetic apparatus in Cd-stressed runner bean plants in relation to their age. *Plant Sci.* 128, 11-21
- Sokołowska Z., Hrebelna N., Hajnos M., 2007. Porosity of leached forest-meadow chernozem polluted with lead and cadmium. *Acta Agrophysica* 152, Vol. 10 (2), 455-464.
- Szatanik-Kloc A., 2000. Wpływ pH i stresu glinowego na właściwości fizykochemiczne powierzchni korzeni roślin zbożowych. Rozprawa doktorska. Instytut Agrofizyki PAN, Lublin.
- Szatanik-Kloc A., 2006. Właściwości powierzchniowe korzeni wybranych roślin jednoliściennych i dwuliściennych; oznaczone metodą adsorpcji-desorpcji pary wodnej i azotu. *Acta Agrophysics*, 135 Vol. 7(4), 1015-1027
- Szatanik-Kloc A., Sokołowska Z., Hrebelna N., 2007. Wpływ pH w warunkach stresu kadmowego na ładunek powierzchniowy korzeni jęczmienia (*Hordeum vulgare* L.), *Acta Agrophysica* 152, Vol. 10 (2), 473-482.
- Wójcik M and Tukiendorf A., 2005. Cadmium uptake, localization and detoxification in *Zea mays*. *Biology Plantarum*, 49(2), 237-245.
- Wójcik M., Skórzyńska-Polit E., Tukiendorf A., 2006. Organic acid accumulation and antioxidant enzyme activities in *Thlaspi carelessness* under Zn and Cd stress. *Plant Growth Regulation*, 48, 145-155.

EFFECT OF CADMIUM IONS ON APPARENT SURFACE AREA OF BARLEY ROOTS (*HORDEUM VULGARE* L.)

Natalia Hrebelna^{1*}, Alicja Szatanik-Kloc², Zofia Sokołowska²

¹Department of Ecology and Biology, Lviv State Agrarian University
ul. V. Velukogo 1, Dublyany, Ukraine

²Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: a.kloc@ipan.lublin.pl

Abstract. The aim of investigations was to determine the influence of intensity and cadmium stress time on changes of apparent surface area of the roots. Spring barley roots variety Peas were studied. The plants were taken from the Dublany research field of the Lvov State Agrarian University. Cadmium was added to the soil (leached forest-meadow chernozem) in the form of CdCl₂ at concentrations of 0, 3, 15, 30 mg Cd⁺² per kg of the soil. From the isotherms, apparent surface area was calculated using BET theory. The apparent surface area of the roots of the emergence stage and full maturity stage were studied. Under the influence of Cd⁺² ions, apparent surface area decreased. Significant difference of the surface area was also observed for roots in the emergence stage and with cadmium concentration of 3 mg per kg of soil. Visible changes of the surface area (for all stress doses) were observed for roots in the full maturity stage. Stress time influenced significantly the surface area changes. It is probably connected with changes of physiological processes in the plant under influence of protracted stress and with tolerance mechanisms of cadmium stress.

Key words: apparent surface area, cadmium, roots

*The author wish to express their appreciation to the International Research and Education Centre in the Institute of Agrophysics PAS in Lublin. The Project is co-financed by the European Regional Development Fund within the Neighbourhood Programme Poland-Belarus-Ukraine INTERREG IIIA/TACIS CBC 2004-2006.