

WPLYW ZWIĄZKÓW KADMU I CYNKU NA WCZESNE ETAPY WZROSTU RZODKIEWKI (*RAPHANUS SATIVUS* L. VAR. *SATIVUS*)

KATARZYNA MOŹDŻEŃ¹, BEATA BARABASZ-KRASNY¹, JOANNA PUŁA², ANDRZEJ LEPIARCZYK²

¹*Instytut Biologii, Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie, ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków*

²*Katedra Agrotechniki i Ekologii Rolniczej, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków*

Synopsis. Celem podjętych badań, wykonanych w 2016 roku, było sprawdzenie testem szalkowym wpływu azotanu kadmu ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$) i siarczanu cynku (ZnSO_4), o stężeniach 0,25; 0,5 i 1% na wzrost, przyrost świeżej i suchej masy oraz procentową zawartość wody w siewkach rzodkiewki odmiany ‘Rowa’ (*Raphanus sativus* L. var. *sativus*). Wzrost siewek rzodkiewki na podłożach z 0,25% roztworem azotanu kadmu był o połowę mniejszy w porównaniu do kontroli, natomiast na podłożach z 0,5 i 1% roztworem był całkowicie zahamowany. W przypadku 7-dniowych siewek rzodkiewki, rosnących na podłożach z siarczanem cynku, obserwowano zdecydowanie mniejszy ich przyrost na długość we wszystkich zastosowanych stężeniach. Największe wartości świeżej masy stwierdzono dla siewek rzodkiewki rosnących w warunkach kontrolnych, w porównaniu do siewek wyrosłych na podłożach z roztworami azotanu kadmu i siarczanu cynku. Wartości suchej masy były większe u siewek wyrosłych na podłożach z 0,25 i 0,5% roztworami siarczanu cynku, a zdecydowanie mniejsze we wszystkich stężeniach azotanu kadmu. Procentowa zawartość wody była podobna u wszystkich badanych siewek rzodkiewki, w porównaniu do siewek z próby kontrolnej.

Słowa kluczowe: część nadziemna, korzeń, metale ciężkie, rzodkiewka, siewki, świeża i sucha masa

WSTĘP

Postępująca urbanizacja oraz chemizacja rolnictwa przyczyniają się do coraz większego zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego metalami ciężkimi [Sawidis i in. 2014]. Stwarza to zagrożenie, zarówno dla roślin, jak i zwierząt, a tym samym również dla człowieka [Jensen i in. 2009, Moroń i in. 2012, Ociepa-Kubicka i Ociepa 2012, Zhou i in. 2014]. Na koncentrację i dystrybucję metali ciężkich w środowisku przyrodniczym bezpośrednio wpływają czynniki związane ze źródłem, stężeniem, fizyczną i chemiczną formą zanieczyszczeń, a także sposobem ich utylizacji oraz transportu [Czeczot i Majewska 2010, Wuana i Okieimen 2011]. Mobilność i dostępność metali ciężkich w glebie zależy od pH gleby, zawartości materii organicznej, obecności tlenków żelaza i manganu, składu granulometrycznego i pojemności sorpcyjnej gleby oraz rodzaju metalu [Kabata-Pendias i Pendias 1999, Ścigalska i in. 2011]. Nadmierne nagromadzenie metali ciężkich w glebie zwiększa ich przedostawanie się do tkanek roślinnych. Wpływa to negatywnie na procesy kiełkowania, wzrost korzeni, rozwój organów nadziemnych, produkcję biomasy oraz ogranicza transpirację. Metale ciężkie zaburzają mechanizmy kontroli na poziomie genów, hamują aktywność białek enzymatycznych, uszkadzają funkcjonowanie szlaków metabolicznych i przyczyniają się do apoptozy komórki [Kwiatkowska-Malina i Maciejewska 2011, Węglarzy 2007, Wyszowska i in. 2013].

¹ Adres do korespondencji – *Corresponding address*: rrpula@cyf-kr.edu.pl

Do najbardziej toksycznych metali ciężkich zaliczany jest kadm. Pierwiastek ten obecny jest w nawozach fosforowych, detergentach i w produktach pochodzących z rafinacji ropy naftowej. Innymi źródłami kadmu są odpady przemysłowe i górnicze [McLaughlin i Singh 1999]. W glebie pierwiastek ten nie ulega biodegradacji, lecz pozostaje bardzo długo w środowisku, wykazując toksyczne działanie [Boularbah i in. 2006, Sharma i in. 2007]. U roślin wywołuje m.in. karłowatość, zaczerwienienie żyłek i chlorozę liści. Zmniejsza intensywność fotosyntezy i oddychania, obniża zawartość chlorofilu *a* i karotenoidów, redukuje aktywność enzymów regulujących odżywianie mineralne oraz bilans wodny. Kadm jest głównie pobierany przez korzenie roślin, wprost proporcjonalnie do czasu i stężenia w glebie [Appel i Ma 2002, Campbell 2006].

W wysokich stężeniach cynk, który w przeciwieństwie do kadmu jest pierwiastkiem niezbędnym dla roślin, również wywołuje toksyczne skutki. Źródłem cynku w środowisku przyrodniczym jest przemysł górniczy i chemiczny oraz wykorzystywane w rolnictwie nawozy oraz środki ochrony roślin. Toksyczne działanie cynku objawia się osłabieniem kiełkowania nasion, ograniczeniem wzrostu oraz chlorotycznymi i nekrotycznymi zmianami na liściach. Cynk opóźnia również rozkład materii organicznej i niekorzystnie wpływa na aktywność drobnoustrojów oraz dżdżownic żyjących w glebie [Kabata-Pendias i Pendias 1999].

W badaniach zanieczyszczeń środowiska z roku na rok wzrasta zainteresowanie biotestami kiełkowania nasion, które są łatwe do wykonania i proste w obserwacji. Ponadto, co jest ich ważnym atutem, nie wymagają dużych nakładów finansowych. Mimo, że nasiona w całym cyklu życiowym roślin są najlepiej zabezpieczone przed różnymi czynnikami stresowymi, to jednak podczas kiełkowania stają się wrażliwe na każdy rodzaj stresu, również substancje toksyczne [Weiqiang i in. 2005]. W biotestach kiełkowania ważne jest aby określić, jakie stężenia substancji chemicznych, w tym metali ciężkich, niekorzystnie wpływają na zdolność kiełkowania, wzrost i rozwój nasion.

Celem pracy było porównanie oddziaływania związków kadmu i cynku, aplikowanych w różnych stężeniach, na wybrane cechy fenotypowe rzodkiewki we wczesnych etapach jej rozwoju. Jako mierniki toksyczności metali przyjęto przyrost korzenia i całej części nadziemnej, świeżą i suchą masę oraz procentową zawartość wody w 7-dniowych siewkach rzodkiewki. Postawiono hipotezę, że we wczesnych etapach rozwoju roślin metale ciężkie nawet w małych stężeniach powodują uszkodzenia struktur morfologicznych.

MATERIAŁ I METODY

W doświadczeniu wykorzystano nasiona rzodkiewki (*Raphanus sativus* L. var. *sativus*) odmiany 'Rowa'. Opłukane pod bieżącą i destylowaną wodą nasiona wykładano na bibułę filtracyjną, umieszczoną w sterylnych szalkach Petriego. Następnie z azotanu kadmu ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$) i siarczanu cynku (ZnSO_4) sporządzono wodne roztwory o stężeniach: 0,25; 0,5 i 1,0%, którymi zwilżano 50 sztuk nasion umieszczonych na szalkach. Próbę kontrolną stanowiły nasiona wyłożone na szalki i podlewane wodą destylowaną. W ten sposób przygotowany materiał roślinny przeniesiono do kiełkownika, gdzie pozostawał on przez 7 dni w ciemności w temperaturze 25°C. W tym czasie nasiona były co drugi dzień podlewane odpowiednimi roztworami.

Po tygodniu kiełkowania zmierzono długość całych siewek oraz osobno korzeni i części nadziemnych za pomocą suwmiarki (Topex 31C615, Polska) z dokładnością do 0,1 cm. Na wadze (Medicat 1600 C, Polska) wyznaczono świeżą masę siewek (łącznie dla wszystkich wykiełkowanych nasion). Do otrzymania suchej masy siewki przez 48 h suszono w suszarce (Termaks 8430, Norwegia) w temperaturze 105°C, a następnie zważono. Na podstawie otrzymanych war-

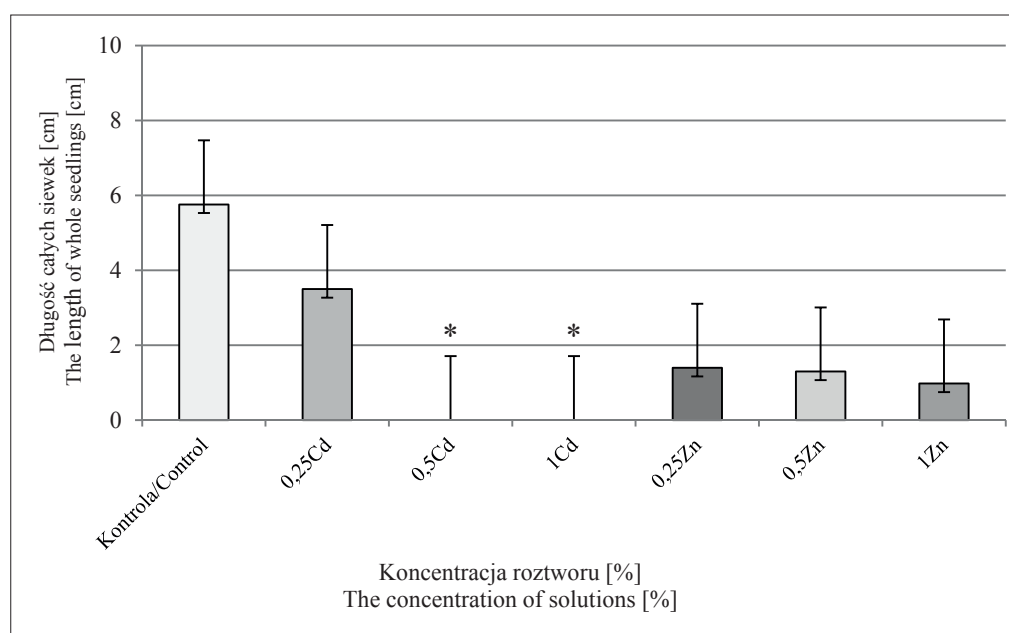
tości mas wyznaczono procentową zawartość wody w siewkach rzodkiewki. Doświadczenie przeprowadzono w 5 seriach na 10 siewkach (łącznie). Wszystkie eksperymenty wykonano w czerwcu i lipcu 2016 roku.

Uzyskane wyniki przeanalizowano przy użyciu nieparametrycznego testu statystycznego Kruskala-Wallisa, po wcześniejszym teście jednorodności wariancji Levene'a, dla $p \leq 0,05$. W obliczeniach wykorzystano program Statistica 10.0 for Windows.

WYNIKI I DYSKUSJA

Różnice w odporności roślin na metale ciężkie zależą nie tylko od gatunku i odmiany [Eurla i in. 2003, Korzeniowska i Stanisławska-Głubiak 2007, Tyksiński i Kurdubska 2004], ale także od zdolności pobierania i przemieszczania się tych pierwiastków z korzeni do części nadziemnych, od pojemności systemu korzeniowego i stosunku masy korzeni do części nadziemnych [Baran i Jasiewicz 2009, Spiak i in. 2000, Wójcik i Tukiendorf 2005]. O fitotoksyczności kadmu i cynku dla roślin decydują także interakcje z makro- i mikroelementami, niezbędnymi do prawidłowego przebiegu procesów fizjologicznych [Badora i Kozłowska-Strawska 2011, Baran i Jasiewicz 2009].

Analiza biometryczna całych siewek rzodkiewki wykazała istotne zahamowanie ich wzrostu na podłożach z wodnymi roztworami $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, w porównaniu do siewek podlewanych roztworami ZnSO_4 (rys. 1). Już przy stężeniu 0,25% $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ zaobserwowano zmniejszenie przy-

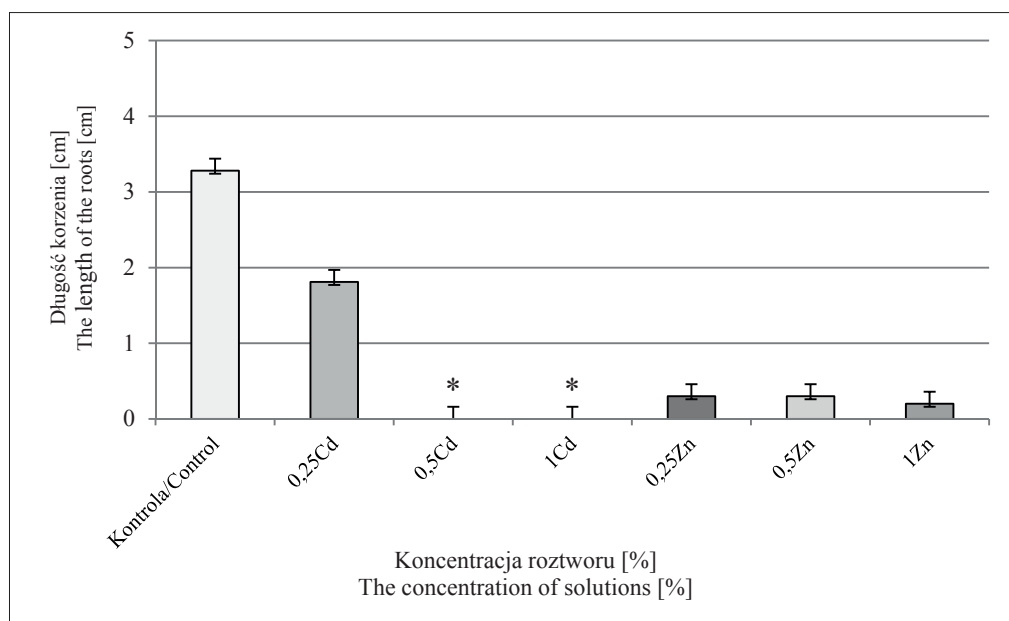


Wartości średnie \pm SD z 5 powtórzeń ($n = 10$) oznaczone * różnią się istotnie wg testu Kruskala-Wallisa, przy $p = 0,001$
Mean values \pm SD of 5 replicates ($n = 10$), marked * differ significantly by Kruskal-Wallis test at $p = 0,001$

Rys. 1. Długość całych siewek rzodkiewki
Fig. 1. The length of the whole radish seedlings

rostu całych siewek, praktycznie o połowę w stosunku do siewek wyrosłych na wodzie destylowanej. Pozostałe dwa stężenia tj. 0,5 i 1% całkowicie hamowały wzrost siewek rzodkiewki. W przypadku $ZnSO_4$ w każdym z zastosowanych stężeń wykazano zmniejszenie przyrostu siewek, względem próby kontrolnej. Zmniejszenie przyrostu na długość korzeni oraz całych siewek w obecności kadmu obserwowano już wcześniej, m.in. u albicji złotej *Albizia lebbek* (L.) Benth. i peladery *Leucaena leucocephala* Lam. de Witt [Iqbal i Shazia 2004], ciecierzycy pospolitej *Cicer arietinum* L. i fasoli mungo *Phaseolus mungo* L. [Kumar i in. 2009], kapusty sitowatej *Brassica juncea* (L.) Czern. [John i in. 2009] oraz dyni olbrzymiej *Cucurbita maxima* Duch. [Subin i Francis 2013]. Według Campbell [2006] kadm raz zabsorbowany przez organizm pozostaje jego rezydentem przez wiele lat. W przypadku związków cynku, np. u siewek bożodrzewa gruczołowatego *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, wzrost korzeni i części nadziemnych był nieznacznie hamowany. Dopiero wyraźnie negatywny wpływ cynku obserwowano w późniejszym okresie wzrostu systemu korzeniowego i organów asymilacyjnych [Samuilov i in. 2014]. W badaniach ogórka melon *Cucumis melo* L. wraz ze wzrostem koncentracji związków cynku obserwowano opóźnienie procesów wzrostu rośliny [Stratu i Costică 2015]. Cynk w wysokich stężeniach bezpośrednio ogranicza wzrost korzeni poprzez hamowanie podziałów komórkowych, wydłużanie komórek, a tym samym wzrost całej rośliny [Vijayarangan i Mahalakshmi 2013].

Pomiary długości korzeni siewek rzodkiewki wykazały zmniejszenie o połowę ich przyrostu na podłożach z 0,25% azotanem kadmu oraz całkowite zahamowanie wzrostu przy większych stężeniach (rys. 2). Z kolei wszystkie trzy roztwory siarczanu cynku hamowały wzrost korzeni siewek co najmniej o połowę, w porównaniu do korzeni siewek kontrolnych. Z badań

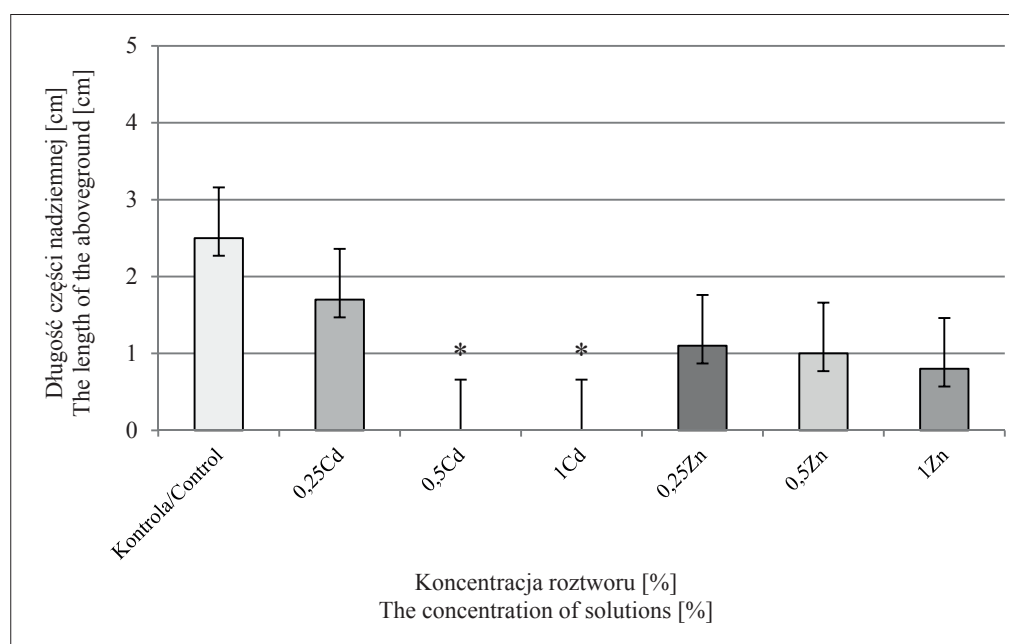


Wartości średnie \pm SD z 5 powtórzeń (n = 10) oznaczone * różnią się istotnie wg testu Kruskala-Wallisa, przy p = 0,00
Mean values \pm SD of 5 replicates (n = 10), marked * differ significantly by Kruskal-Wallis test at p = 0.00

Rys. 2. Długość korzeni siewek rzodkiewki
Fig. 2. The length of the roots of radish seedlings

Hladun i in. [2015] wynika, że u rzodkwi zwyczajnej *Raphanus sativus* L., kadm kumulował się w największych ilościach w korzeniach, co negatywnie wpływało na wzrost tych organów. Z kolei u soczewicy jadalnej *Lens culinaris* Medik. pierwiastek ten hamował rozwój korzeni z powodu obniżenia intensywności podziałów mitotycznych [Kiran i Sahin 2006]. Uważa się również, że zmiany wielkości pozornej powierzchni właściwej korzeni życicy wielokwiatowej *Lolium multiflorum* Lam. mogą wynikać prawdopodobnie z blokowania przez kadm centrów adsorpcyjnych pary wodnej [Kosynets i in. 2012]. Cytotoksyczne działanie kadmu w cebuli *Allium* sp., fasoli *Phaseolus* sp., grochu *Pisum* sp. oraz w jęczmieniu *Hordeum* sp., powodowało wakuolizację komórek, uszkodzenia mitochondriów, hamowanie proliferacji i różne aberracje chromosomowe [Das i in. 1997].

W nadziemnych częściach siewek rzodkiewki wraz ze wzrostem stężeń roztworów obu metali ciężkich, obserwowano zmniejszenie ich długości (rys. 3). Roztwory azotanu kadmu całkowite hamowały wzrost siewek na podłożach o stężeniach 0,5 i 1%. Wodne roztwory siarczanu cynku co najmniej o połowę obniżały wzrost organów nadziemnych, w porównaniu z siewkami kontrolnymi.



Wartości średnie \pm SD z 5 powtórzeń (n = 10) oznaczone * różnią się istotnie wg testu Kruskala-Wallisa, przy p = 0,001
Mean values \pm SD of 5 replicates (n = 10), marked * differ significantly by Kruskal-Wallis test at p = 0.001

Rys. 3. Długość części nadziemnych siewek rzodkiewki
Fig. 3. The length of the aboveground of radish seedlings

Świeża masa siewek rzodkiewki wyrosłych na szalkach z roztworami kadmu była 4-krotnie mniejsza w stosunku do próby kontrolnej (tab. 1). Wraz ze wzrostem stężeń azotanu kadmu ob-

serwowano obniżenie zawartości świeżej masy. W przypadku siewek podlewanych roztworami siarczynu cynku także stwierdzono inhibycyjny wpływ na przyrost świeżej masy siewek. Zaobserwowano obniżenie wartości świeżej masy (o połowę) u siewek wykiełkowanych na 0,25% $ZnSO_4$, a nawet 3-krotne zahamowanie przyrostu u siewek podlewanych 0,5 i 1% roztworami $ZnSO_4$, w stosunku do próby kontrolnej. Zaburzenia w przyroście mas mogą wynikać z zakłócenia przez te pierwiastki wychwytywania, transportu i wykorzystywania przez rośliny jonów Ca, Mg, P i K oraz wody [Das i in. 1997].

Tabela 1. Świeża i sucha masa siewek rzodkiewki
Table 1. The fresh and dry weight of radish seedlings

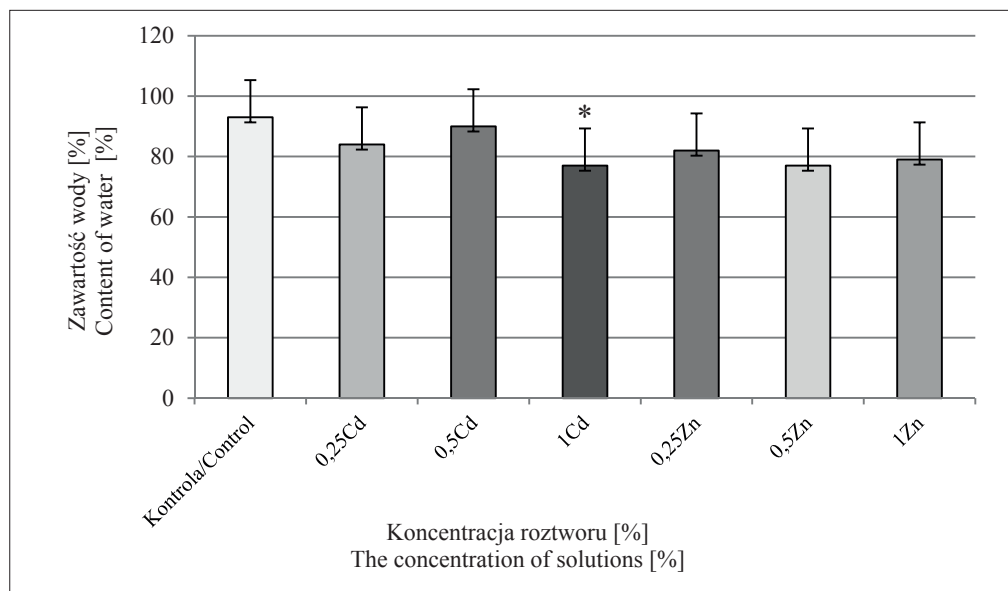
Masa Weight (g)	Koncentracja roztworów/The concentration of solutions (%)						
	Kontrola Control	Cd(NO ₃) ₂			ZnSO ₄		
		0,25	0,5	1	0,25	0,5	1
Świeża Fresh	0,120 ±0,035	0,036 ±0,009	0,022* ±0,004	0,017* ±0,003	0,050 ±0,016	0,043 ±0,017	0,034 ±0,010
Sucha Dry	0,007 ±0,002	0,006 ±0,001	0,004 ±0,002	0,002 ±0,001	0,009 ±0,002	0,009 ±0,002	0,007 ±0,001

Wartości średnie ±SD z 5 powtórzeń (n = 10); oznaczone * różnią się istotnie wg testu Kruskala-Wallisa, przy $p \leq 0,05$
Mean values ± SD of 5 replicates (n = 10); marked * differ significantly by Kruskal-Wallis test at $p \leq 0.05$

W przypadku suchej masy, zmniejszenie przyrostu wykazano dla siewek rzodkiewki podlewanych roztworami azotanu kadmu, a zwiększenie u siewek podlewanych roztworami siarczynu cynku, w porównaniu do kontroli – jednak nie były to zmiany istotne statystycznie (tab. 1). Pozytywny wpływ cynku na przyrost suchej masy wykazano u pomidorów *Lycopersicon esculentum* Mill. [Vijayarengan i Mahalakshmi 2013]. Cynk wchodzi w skład niektórych enzymów i koenzymów. W małych ilościach jest niezbędny do prawidłowego rozwoju roślin, lecz jego niedobór lub nadmiar wpływa niekorzystnie na rośliny. Generalnie jednak, obserwowano również fitotoksyczne działanie cynku i kadmu na plon suchej masy, niezależnie od stężenia [Baran i in. 2008].

W przeprowadzonym doświadczeniu istotnie mniejszą procentową zawartość wody w siewkach odnotowano w najwyższych stężeniach związków kadmu i cynku (rys. 4). Otrzymane różnice wynikają najprawdopodobniej z utrudnienia wnikania wody do kiełkujących nasion. Metale ciężkie modyfikują właściwości błon komórkowych poprzez hamowanie syntezy kwasów tłuszczowych i steroli. W obecności kadmu aktywowana jest kwaśna fosfataza, która bierze udział w rozkładzie błon komórkowych. Tego rodzaju zmiany są przyczyną niskiego stopnia pęcznienia i obniżenia tempa kiełkowania nasion [Siwek 2008].

Uzyskane wyniki badań z rzodkiewką potwierdzają fakt, że chemiczna degradacja środowiska związkami kadmu i cynku uniemożliwia prawidłowe kiełkowanie nasion i wzrost siewek. W rolnictwie i ogrodnictwie wśród metod unieszkodliwiania toksycznych metali ciężkich wykorzystywane są techniki ich wytrącania lub absorpcji, wapnowania gleb, stosowania minerałów ilastych, zeolitów oraz monitorowania działania nawozów organicznych [Rolka 2014, Shan i in. 2016]. Jednak metody te mogą być skuteczne w unieruchamianiu jednych metali ciężkich, a sprzyjać z kolei zwiększaniu mobilności innych [González i in. 2012, Houben i in. 2012].



Wartości średnie z 5 powtórzeń (n = 10) oznaczone * różnią się istotnie wg testu Kruskala-Wallisa, przy p = 0,009
 Mean values of 5 replicates (n = 10), marked * differ significantly by Kruskal-Wallis test at p = 0.009

Rys. 4. Zawartość wody (%) w siewkach rzodkiewki
 Fig. 4. The water content (%) of radish seedlings

W związku z tym rośliny same również wykształciły szereg przystosowań do życia w skażonym środowisku [Zhang i in. 2005]. Na przykład, niektóre gatunki unieruchamiają kadm w ścianach komórkowych dzięki grupom karboksylowym pektyn i hemiceluloz. Kadm, akumulowany w wakuolach, jest wiązany przez szczawiany, a pozakomórkowo dezaktywowany przez węglowodany [Benavides i in. 2005]. Wysoki poziom nawożenia fosforowego jest jednym z czynników ograniczających pobieranie cynku przez rośliny [Domańska 2009, Domańska i Filipek 2011, Gianquinto i in. 2000, Rogóż 2002, Zhu i in. 2001]. Tolerancja roślin na metale ciężkie jest związana z wytwarzaniem fitochelatyn i metalotionein, z aktywnością enzymów szlaku antyoksydacyjnego, chroniących komórki przed działaniem szkodliwych form tlenu [Dong i in. 2006, Siwek 2008, Wojtyła i in. 2006]. Jednym z wielu wskaźników obrony przed skutkami stresu oksydacyjnego są katalazy i peroksydazy. Wzrost aktywności tych enzymów zależy, m.in. od stężenia soli metali ciężkich, czasu ich ekspozycji, obecności wolnych jonów oraz ekspresji genów w tkankach [Szymczak i in. 2011, Wang i in. 2008].

WNIOSKI

1. Symulowane zanieczyszczenie podłoża kadmem i cynkiem dowiodło toksyczny wpływ w początkowych etapach rozwoju rzodkiewki (kiełkowanie i wzrost siewek), już przy 0,25% stężeniach związków tych metali.
2. Korzeń rzodkiewki był organem bardziej wrażliwym na obecność kadmu i cynku niż jej część nadziemna.

3. Związki kadmu zmniejszyły przyrost biomasy siewek rzodkiewki i ograniczały zawartość wody.
4. Siewki rzodkiewki charakteryzowały się większą wrażliwością na zanieczyszczenie podłoża związkami kadmu niż cynku.

PIŚMIENNICTWO

- 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.
- Badora A., Kozłowska-Strawska J. 2011. Wybrane wskaźniki jakości roślin uprawnych. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.* 48: 439–452.
- Baran A., Jasiewicz C. 2009. The toxicity content of zinc and cadmium in soil to different plants. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.* 40: 157–164.
- Baran A., Jasiewicz C., Klimek A. 2008. Plant response to toxic zinc and cadmium content in soil. *Proceed. of EC Opole* 2(2): 417–422.
- Benavides M.P., Galego S.M., Tomaro M.L. 2005. Cadmium toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.* 17(1): 21–34.
- Boularbah A., Schwartz C., Bitton G., Aboudrar W., Ouhammou A., Morel J.L. 2006. Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco: 2. Assessment of metal accumulation and toxicity in plants. *Chemosphere* 63: 811–817.
- Campbell P.G.C. 2006. Cadmium – A priority pollutant. *Environ. Chem.* 3(6): 387–388.
- Czeczot H., Majewska M. 2010. Kadm – zagrożenie i skutki zdrowotne. *Toksykologia* 66(4): 243–250.
- Das P., Samantaray S., Rout G.R. 1997. Studies on cadmium toxicity in plants, a review. *Environ. Pollut.* 98(1): 29–36.
- Domańska J. 2009. Soluble forms of zinc in profiles of selected types of arable soils. *J. Elementol.* 14(1): 55–62.
- Domańska J., Filipek T. 2011. Akumulacja cynku w kupkówce pospolitej w zależności od rodzaju gleby, pH oraz zanieczyszczenia Cd lub Pb. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.* 48: 67–73.
- Dong J., Wu F., Zhang G. 2006. Influence of cadmium on antioxidant capacity and four microelement concentrations in tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere* 64: 1659–1666.
- Eurola M., Hietaniemi V., Kontturi M., Tuuri H., Pihlava J.M., Saastamoinen M., Rantanen O., Kangas A., Niskanen M. 2003. Cadmium contents of oats (*Avena sativa* L.) in official variety, organic cultivation, and nitrogen fertilization trials during 1997–1999. *J. Agric. Food Chem.* 51: 2608–2614.
- Gianquinto G., Abu-Rayyan A., Tola L.D., Piccotino D., Pezzarossa B. 2000. Interaction effects of phosphorus and zinc on photosynthesis, growth and yield of dwarf bean grown in two environments. *Plant Soil* 220: 219–228.
- González V., García I., Del Moral F., Simón M. 2012. Effectiveness of amendments on the spread and phytotoxicity of contaminants in metal-arsenic polluted soil. *J. Hazard. Mater.* 205–206: 72–80.
- Hladun K.R., Parker D.R., Trumble J.T. 2015. Cadmium, copper, and lead accumulation and bioconcentration in the vegetative and reproductive organs of *Raphanus sativus*, implications for plant performance and pollination. *J. Chem. Ecol.* 41(4): 386–95.
- Houben D., Pircar J., Sonnet P. 2012. Heavy metal immobilization by cost-effective amendments in a contaminated soil: effects on metal leaching and phytoavailability. *J. Geochem. Explor.* 123: 87–94.
- Iqbal M.Z., Shazia Y. 2004. Differential tolerance of *Albizia lebeck* and *Leucaena leucocephala* at toxic levels of lead and cadmium. *Pol. J. Environ. Stud.* 13(4): 439–442.
- Jensen J.K., Holm P.E., Nejrup J., Larsen M.B., Borggaard O.K. 2009. The potential of willow for remediation of heavy metal polluted calcareous urban soils. *Environ. Pollut.* 157: 931–937.
- John R., Ahmad P., Gadgil K., Sharma S. 2009. Heavy metal toxicity, effect on plant growth, biochemical parameters and metal accumulation of *Brassica juncea* L. *Int. J. Plant Prod.* 3(3): 65–76.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN Warszawa, 144–156.
- Kiran Y., Sahin A. 2006. The effects of cadmium on seed germination, root development, and mitotic of root tip cells of lentil (*Lens culinaris* Medik). *World J. Agr. Sci.* 2(2): 196–200.

- Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E. 2007. Reakcja trzech odmian gorczycy białej na skażenie gleby miedzią, cynkiem i niklem. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.* 32: 87–93.
- Kosynets O., Szatanik-Kloc A., Szerement J. 2012. Zmiany pozornej powierzchni właściwej korzeni życicy wielokwiatowej (*Lolium multiflorum* L.) determinowane toksycznością kadmu. *Acta Agrophys.* 19(3): 587–595.
- Kumar N., Baudhdh K., Singh R., Ananad K., Barman S.C., Singh D.P. 2009. Phytotoxicity of trace metals (Cu & Cd) to gram (*Cicer arietinum*) and mung (*Phaseolus mungo*). *J. Ecophysiol. Occup. Hlth.* 9: 59–65.
- Kwiatkowska-Malina J., Maciejewska A. 2011. The uptake of heavy metals by plants at differentiated soil reaction and content of organic matter. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.* 49: 43–51.
- McLaughlin M.J., Singh B.R. 1999. Cadmium in soils and plants. Springer-Netherlands, 1-9.
- Moroń D., Grześ I.M., Skórka P., Szentgyörgyi H., Laskowski R., Potts S.G., Woyciechowski M. 2012. Abundance and diversity of wild bees along gradients of heavy metal pollution. *J. Appl. Ecol.* 49: 118–125.
- Ociepa-Kubicka A., Ociepa E. 2012. Toksyczne oddziaływanie metali ciężkich na rośliny, zwierzęta i ludzi. *Inż. Ochr. Środ.* 15(2): 169–180.
- Rogóż A. 2002. Zawartość i pobranie pierwiastków śladowych przez rośliny przy zmiennym odczynie gleby. Cz. I. Zawartość i pobranie miedzi, cynku oraz manganu przez rośliny. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 482: 439–451.
- Rolka E. 2014. Plonowanie wybranych roślin uprawnych w warunkach zanieczyszczenia gleby kadmem oraz stosowania substancji neutralizujących. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 576: 99–109.
- Samuilov S., Dunisijević Bojović D., Dukić M., Raković J. 2014. The effect of elevated Zn concentrations on seed germination and young seedling growth of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Bull. Faculty Forestry* 110: 145–158.
- Sawidis T., Halley J.M., Llupo S., Bellos D., Veros D., Symeonidis L. 2014. Nickel and iron concentrations in plants from mining area Pogradec, Albania. *Environ. Eng. Manag. J.* 13: 861–872.
- Shan H., Su S., Liu R., Li S. 2016. Cadmium availability and uptake by radish (*Raphanus sativus*) grown in soils applied with wheat straw or composted pig manure. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 23(15): 15208–15217.
- Sharma R.K., Agrawal M., Marshall F. 2007. Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. *Ecotox. Environ. Safe.* 66: 258–266.
- Siwek M. 2008. Rośliny w skażonym metalami ciężkimi środowisku przemysłowym. Część II. Mechanizmy detoksykacji i strategie przystosowania roślin do wysokich stężeń metali ciężkich. *Wiad. Bot.* 52(3/4): 7–23.
- Spiak Z., Romanowska M., Radoła J. 2000. Toksyczna zawartość cynku w glebach dla różnych roślin uprawnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 471: 1125–1134.
- Stratu A., Costică N. 2015. The influence of zinc on seed germination and growth in the first ontogenetic stages in the species *Cucumis melo* L. *PESD* 9(2): 215–227.
- Subin M.P., Francis S. 2013. Phytotoxic effects of cadmium on seed germination, early seedling growth and antioxidant enzyme activities in *Cucurbita maxima* Duchesne. *Int. Res. J. Biol. Sci.* 2(9): 40–47.
- Szymczak J., Kłódka D., Smolik B., Pawlica M. 2011. Effect of cadmium salt on the activity of oxidative stress enzymes in soil and maize (*Zea mays* var. *Saccharata*). *Ochr. Środ. Zasob. Nat.* 48: 210–215.
- Ścigalska B., Puła J., Łabuz B. 2011. Zawartość pierwiastków śladowych w ziarnie pszenżyta uprawianego w płodozmianie i monokulturach zbożowych. *Fragm. Agron.* 28(3): 112–119.
- Tyksiński W., Kurdubska J. 2004. Różnice odmianowe w akumulacji kadmu i ołowiu przez rzodkiewkę (*Raphanus sativus* L.). *Rocz. AR Pozn.* 356, *Ogrodn.* 37: 209–215.
- Vijayarangan P., Mahalakshmi G. 2013. Zinc toxicity in tomato plants. *World Appl. Sci. J.* 24(5): 649–653.
- Wang Z., Zhang Y., Huang Z., Huang L. 2008. Antioxidative response of metal-accumulator and non-accumulator plants under cadmium stress. *Plant Soil* 310: 137–149.
- Weiqiang L., Khan M., Yamaguchi S., Kamiya Y. 2005. Effects of heavy metals on seed germination and early seedling growth of *Arabidopsis thaliana*. *J. Plant Growth Regul.* 46: 45–50.
- Węglarzy K. 2007. Metale ciężkie – źródła zanieczyszczeń i wpływ na środowisko. *Wiad. Zootech.* 45(3): 31–38.
- Wojtyła Ł., Garnczarska M., Ratajczak L. 2006. Function of reactive oxygen species in seed development and germination. *Post. Biol. Komórki* 3: 543–553.

- Wójcik M., Tukiendorf A. 2005. Cadmium uptake, localization and detoxification in *Zea mays*. Biol. Plantarum 49: 237–245.
- Wuana R.A., Okieimen F.E. 2011. Heavy metals in contaminated soils, A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. ISRN Ecology, 1–20. DOI:10.5402/2011/402647.
- Wyszkowska J., Borowik A., Kucharski M., Kucharski J. 2013. Effect of cadmium, copper and zinc on plants, soil microorganisms and soil enzymes. J. Elementol. 769–796.
- Zhang H., Jiang Y., He Z., Ma Mi. 2005. Cadmium accumulation and oxidative burst in garlic (*Allium sativum*). J. Plant Physiol. 162: 977–984.
- Zhou H., Zhou X., Zeng M., Liao B.H., Liu L., Yang W.T., Qiu Q.Y., Wang Y.J. 2014. Effects of combined amendments on heavy metal accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) planted on contaminated paddy soil. Ecotox. Environ. Safe. 101: 226–232.
- Zhu Y.G., Smith S.E., Smith F.A. 2001. Zinc (Zn) – phosphorus (P) interaction in two cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) differing in P uptake efficiency. Ann. Bot. 88: 941–945.

K. MOŹDŻEŃ, B. BARABASZ-KRASNY, J. PUŁA, A. LEPIARCZYK

IMPACT OF COMPOUNDS OF CADMIUM AND ZINC IN EARLY STAGES OF GROWTH OF RADISH (*RAPHANUS SATIVUS* L. VAR. *SATIVUS*)

Summary

The aim of the study was to examine the effect of petri dishes test, of cadmium nitrate, ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$) and zinc sulfate (ZnSO_4), with a percentage concentrations of 0.25, 0.5 and 1% on the growth, fresh and dry weight and the percentage of water content in seedlings of varieties of radishes 'Rowa' (*Raphanus sativus* L. var. *sativus*). The experiment was performed at the turn of June and July 2016. The growth of radish seedlings on the 0.25% solution of cadmium nitrate was halved compared to the control, while on the 0.5 and 1% concentration was completely inhibited. In the all concentrations of solution of zinc sulfates much smaller increase in the length of 7-day-old radish seedlings was observed. The highest values were found for the fresh weight of radish seedlings grown in control conditions, compared to seedlings grown on the cadmium nitrate and zinc sulfate solutions. The values of the dry weight were higher for seedlings grown in the 0.25 and 0.5% zinc sulfate solutions and significantly lower at all concentrations of cadmium nitrate. The percentages of water content were similar in all radish seedlings grown on the cadmium and zinc solutions, compared to the control.

Key words: aboveground, root, heavy metals, radish, seedlings, fresh and dry weight

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 28.02.2017

Do cytowania – *For citation*

Możdżeń K., Barabasz-Krasny B., Puła J., Lepiarczyk A. 2017. Wpływ związków kadmu i cynku na wczesne etapy wzrostu rzodkiewki (*Raphanus sativus* L. var. *sativus*). *Fragm. Agron.* 34(2): 45–54.