

Anna Grzesiuk*, Iwona Czułowska*, Waldemar Kowalczyk,
Marcin Horbowicz***

**WPŁYW JONÓW OŁOWIU NA ZAWARTOŚĆ NIEKTÓRYCH
METABOLITÓW I WZROST SIEWEK GRYKI ZWYCZAJNEJ
(*FAGOPYRUM ESCULENTUM* MOENCH)**

**EFFECT OF LEAD IONS ON CONTENT OF SOME METABOLITES AND
GROWTH OF SEEDLINGS OF COMMON BUCKWHEAT (*FAGOPYRUM
ESCULENTUM* MOENCH)**

Słowa kluczowe: gryka zwyczajna, wrażliwość na ołów, wzrost, chlorofile, antocyjany.

Key words: common buckwheat, sensitivity to lead, growth, chlorophylls, anthocyanins.

Common buckwheat is gaining increasing attention due to its high nutritional value, but also the rapid growth, low mineral requirements and resistance to many environmental stresses, including heavy metals. The aim of this study was to compare the sensitivity of seedlings of two Polish buckwheat cultivars (Hruszowska and Luba) for the presence of lead ions. Seedlings were grown under controlled conditions in Hoagland nutrient solution, with the addition of increasing concentrations of Pb²⁺ (respectively 0; 0,01; 0,1 and 1mM). After 3 and 7 days of treatment seedling growth, the level of dry matter, content of assimilation pigments and anthocyanins were analyzed. The results was shown that the effect of Pb²⁺ ions depend on the concentration of the element, exposure time and the analyzed part of the plant. The presence of low concentrations of lead ions (10⁻⁵M) seems to stimulate the growth of seedlings of both cultivars studied, while higher doses inhibit root growth, and to a much lesser extent, of shoot. More resistant to stress caused by the presence of high concentrations of Pb²⁺ in the growth medium was seedlings cv. Luba. These plants contained higher contents of assimilation pigments, and on their growth did not greatly affect lead ions, compared to

* *Dr Anna Grzesiuk, mgr Iwona Czułowska, prof. dr hab. Marcin Horbowicz – Katedra Fizjologii Roślin i Genetyki, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. Prusa 12, 08-110 Siedlce; tel.: 25 643 13 24, e-mail: grzesiuk@uph.edu.pl*

** *Dr Waldemar Kowalczyk – Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach, ul. Konstytucji 3 Maja 1/3, 96-100 Skierniewice, tel.: 46 833 22 11.*

seedlings of the cv. Hruszowska. Obtained results confirm the fact of high resistance of common buckwheat plants to lead.

1. WPROWADZENIE

Działalność gospodarcza człowieka powoduje zwiększające się zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego metalami ciężkimi. Za jeden z najniebezpieczniejszych uważany jest ołów, który działa toksycznie zarówno na rośliny, jak i zwierzęta, głównie z powodu blokowania grup funkcyjnych białek i kwasów nukleinowych. Za pośrednictwem roślin, które łatwo go pobierają i kumulują, jest on wprowadzany do łańcucha pokarmowego, stając się zagrożeniem dla zdrowia, a nawet życia człowieka [Gruca-Królikowska i Waclawek 2006]. Codzienne spożywanie żywności zawierającej nawet niewielkie dawki metalu prowadzi do stopniowego gromadzenia go w tkankach, skutkiem czego jego toksyczne działanie może ujawnić się dopiero po wielu latach [Zgnilicka 2002].

Rośliny wykształciły wiele różnych mechanizmów obronnych, dzięki którym potrafią tolerować duże dawki metali ciężkich, w tym także ołowiu [Olko 2009]. Niektóre gatunki są zdolne do pobierania i gromadzenia dużych ilości pierwiastków śladowych w swoich organach nadziemnych, przyczyniając się do oczyszczania z nich gleby. Rośliny takie określa się mianem hiperakumulatorów, a proces wykorzystywania ich zdolności do usuwania zanieczyszczeń ze środowiska nosi nazwę fitoremediacji [Żurek i Majtkowski 2009]. Jedną z takich roślin jest gryka zwyczajna, która dzięki szybkiemu wzrostowi, dużej produkcji biomasy, stosunkowo niewielkim wymaganiom glebowym oraz zdolności do kumulowania w organach nadziemnych dużych ilości glinu i ołowiu, doskonale nadaje się do stosowania w procesie oczyszczania skażonych nimi gleb [Honda i in. 2007, Shen i in. 2006, Tamura i in. 2005]. Dużą zaletą jest również to, że metale te nie przedostają się do nasion, które dzięki temu mogą być bezpiecznie wykorzystywane [Shen i in. 2006].

W literaturze brak jest informacji na temat wrażliwości na ołów uprawianych w Polsce odmian gryki zwyczajnej, dlatego celem prezentowanych badań było poznanie wpływu jonów ołowiu na wybrane procesy fizjologiczne, takie jak wzrost siewek, poziom suchej masy czy zawartość barwników u dwóch polskich odmian gryki: Hruszowskiej i Luby, a przez to – próba oceny ich wrażliwości na obecność pierwiastka w środowisku.

2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

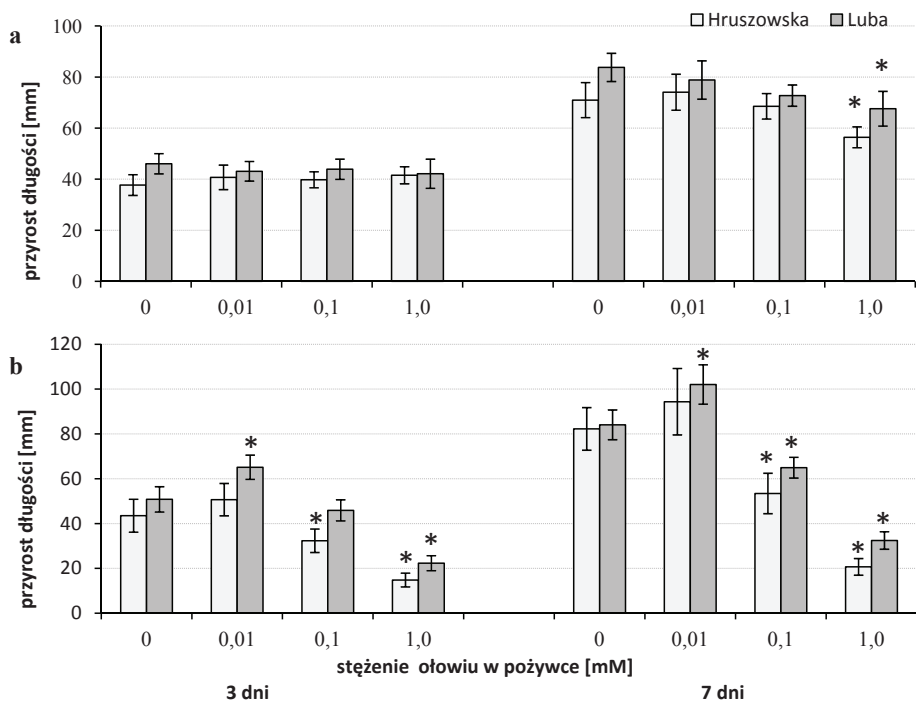
Do badań wykorzystano siewki gryki zwyczajnej odmian Hruszowska i Luba. Nasiona poddawano kiełkowaniu między warstwami wilgotnej bibuły, zwiniętej w rulony, które umieszczano w zlewkach pojemności 2 l, zawierających 250 ml wody, i inkubowano przez 4 dni w temperaturze $24 \pm 1^\circ\text{C}$. Po okresie kiełkowania w ciemności, siewki zbliżonej wielko-

ści przenoszono do zlewek zawierających 250 ml pięciokrotnie rozcieńczonej pożywki Hoaglanda bez fosforu, do której dodawano azotan ołowiu (II), otrzymując stężenie 0,01; 0,1 i 1,0 mM. Próba kontrolna zawierała pożywkę Hoaglanda bez azotanu ołowiu. Następnie rośliny przenoszono do pokoju hodowlanego o kontrolowanej temperaturze $24 \pm 1^\circ\text{C}$ (dzień, 16 h) i $16 \pm 2^\circ\text{C}$ (noc, 8 h) oraz natężeniu światła $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Wpływ jonów ołowiu na wzrost siewek oceniano na podstawie wielkości przyrostów długości korzenia głównego i hipokotyli po 3 i 7 dniach hodowli. Po 7 dniach traktowania siewek gryki jonami ołowiu pobierano próbki liścieni i hipokotyli do analizy zawartości antocyjanów i barwników asymilacyjnych. Zawartość antocyjanów określano metodą spektrofotometryczną, zgodnie z procedurą opisaną przez Mancinelliego [1984], z niewielkimi modyfikacjami [Horbowicz i in. 2008]. Poziom barwników asymilacyjnych oznaczano po ich ekstrakcji z liścieni 80% acetonem metodą Lichtentalera i Wellburna [1985]. Pozostałe siewki dzielono na korzenie, liścienie i hipokotyle, a następnie suszono do stałej masy w temperaturze 70°C , w celu oznaczenia zawartości suchej masy.

Wyniki badań przedstawiono w formie wykresów, na których podano wartości średnie \pm przedział ufności przy $P=95\%$. Otrzymane wyniki poddano analizie wariancji za pomocą programu STATISTICA, istotność różnic oceniano testem Tukeya z 5% prawdopodobieństwem błędu.

3. WYNIKI I DYKUSJA

Obecność jonów Pb^{2+} w środowisku wywołuje wiele zmian w procesach fizjologicznych i metabolicznych rośliny, takich jak: zaburzenia procesu fotosyntezy i oddychania komórkowego, zmiany w przepuszczalności błon biologicznych, hamowanie aktywności enzymów, zakłócenia gospodarki wodnej i mineralnej, a w konsekwencji prowadzi do zahamowania wzrostu [Sharma i Dubey 2005, Seregin i Ivanov 2001 i cytowana tam literatura]. Otrzymane podczas naszych badań wyniki wskazują, że obecność jonów Pb w pożywce oddziaływała na wzrost siewek gryki zwyczajnej, przy czym wpływ ten zależał od stężenia pierwiastka, czasu działania, odmiany, a nawet organu rośliny. Zaobserwowano, że w korzeniach małe stężenia ołowiu (0,01 mM) działały stymulująco na proces ich wzrostu (rys.1b). U odmiany Luba przyrost długości korzenia głównego po 3 dniach traktowania był o ponad 20% większy niż w roślinach kontrolnych. Wyniki te potwierdzają wcześniejsze doniesienia, że metale ciężkie stosowane w małych dawkach mogą przyspieszać wzrost roślin [Wójcik i Tukendorf 1999] oraz pobudzać aktywność metaboliczną [Krupa i in. 1993, Karavaev i in. 2001]. Zjawisko aktywacji wzrostu i procesów metabolicznych pod wpływem małych dawek substancji toksycznych jest nazywane hormezą [Calabrese i Baldwin, 2003]. Zbliżony wpływ jonów Pb^{2+} na wzrost siewek wykazano również u kukurydzy (*Zea mays*) oraz fasoli (*Phaseolus vulgaris*) [Nyitrai i in. 2003].



Rys. 1. Wpływ stężenia ołowiu w pożywce na przyrost długości hipokotyli (a) i korzeni (b) siewek gryki zwyczajnej po 3 i 7 dniach traktowania; wartości średnie z 80–90 pomiarów \pm przedział ufności, przy $P=95\%$, * – różnica istotna statystycznie w stosunku do próby kontrolnej ($p<0,05$)

Fig. 1. Effect of lead concentration in the growth medium on increase in length of hypocotyls (a) and roots (b) of buckwheat seedlings after 3 and 7 days of treatment; results are means of 80-90 measurements \pm confidence intervals at 95%, * – mean is significantly different from control ($p<0,05$)

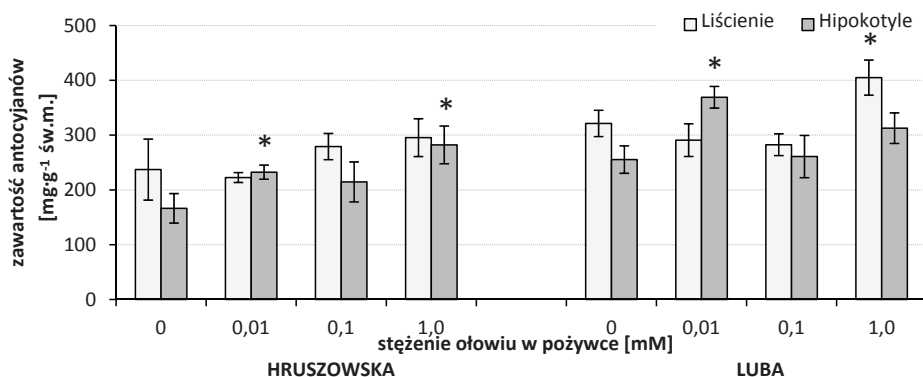
Obecność w pożywce większych dawek ołowiu (0,1 i 1,0 mM) miała hamujący wpływ na wzrost siewek gryki zwyczajnej. Oddziaływanie to pogłębiało się wraz z wydłużaniem ekspozycji oraz zwiększaniem stężenia pierwiastka (rys. 1a i b). Bezpośrednią przyczyną takiego efektu może być zahamowanie podziałów komórkowych i/lub elongacji komórek (inhibicja działania auksyn). Spowolnienie wzrostu korzeni cebuli traktowanych jonami Pb^{2+} było spowodowane redukcją podziałów komórkowych w stożku wzrostu [Wierzbička 1994]. Z kolei u kukurydzy efekt ten był wynikiem zarówno zmniejszenia liczby dzielących się komórek, jak i zahamowaniem ich wydłużania. Jony ołowiu, wiążąc się z grupami karboksylowymi kwasów uronowych hemiceluloz i pektyn oraz przyspieszając lignifikację, zmniejszały rozciągliwość ścian i zwiększały ich sztywność, co ograniczało wydłużanie komórek [Obroucheva i in. 1998].

Największą zawartość ołowiu obserwuje się w organach bezpośrednio narażonych na kontakt z jego związkami. Ponadto jest on o wiele łatwiej pobierany przez korzenie niż liście, dlatego objawy jego toksyczności są bardziej nasilone w organach podziemnych niż nadziemnych [Seregin i Ivanov 2001, Sharma i Dubey 2005]. Podczas badań własnych zaobserwowano, że w siewkach gryki zwyczajnej zahamowanie wzrostu korzeni było widoczne już po 3 dniach hodowli w obecności jonów Pb o stężeniu 0,1 mM i pogłębiało się z upływem czasu i zwiększaniem koncentracji pierwiastka w pożywce (rys. 1b). Po 7 dniach traktowania roślin najwyższym stężeniem metalu przyrost długości korzeni był mniejszy niż u roślin kontrolnych o 75% u odmiany Hruszowskiej i 60% u Luby. W tych samych warunkach wzrost części nadziemnej obu odmian był hamowany w około 20% (rys. 1a). Mniejsza toksyczność metali ciężkich dla pędów wynika z faktu, że rośliny wykształciły mechanizmy, które ograniczają transport jonów metalu do organów nadziemnych [Olko 2009]. Jony metalu pobierane przez korzenie z gleby mogą być nieodwracalnie związane w ścianach komórkowych lub gromadzone w wakuoli. Ocenia się, że tylko około 10% pobranego przez roślinę pierwiastka przemieszcza się do pędu [Woźny 1995]. Ważną przeszkodę stanowi tutaj endoderma, dzięki której transport jonów metali do wiązek przewodzących musi się odbywać kanałem sympłastycznym [Sharma i Dubey, 2005].

Istnieje wiele doniesień na temat związku między ekspozycją na metale ciężkie a akumulacją antocyjanów [Chalker-Scot 2002, Krupa i in. 1996]. U klonu czerwonego *Acer rubrum* uprawianego na glebie z dodatkiem $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-3} \text{ PbCl}_2$ ilość barwników antocyjanowych w liściach zwiększyła się prawie czterokrotnie [Davis i Barens 1973]. W naszych badaniach obecność ołowiu w pożywce także stymulowała akumulację antocyjanów u obu badanych odmian gryki zwyczajnej (rys. 2). U odmiany Hruszowska efekt ten był dodatnio skorelowany ze stężeniem metalu w pożywce. W obecności 0,1 mM i 1,0 mM Pb^{2+} zawartość antocyjanów w hipokotylach wzrosła odpowiednio o 40 i 70% w porównaniu do hipokotyli roślin kontrolnych. W przypadku liścieni stymulacja nie była tak silna (wzrost o 25%), co może wynikać z obecności dodatkowych barier w transporcie Pb^{2+} do tkanek liści.

Wzmocniona synteza antocyjanów może być związana z ich rolą w niwelowaniu toksycznego wpływu pierwiastków śladowych na rośliny. Według Hale i in [2002] związki te mogą bezpośrednio chronić komórki przed szkodliwym działaniem jonów metali przez tworzenie z nimi trwałych kompleksów. Zwiększona akumulacja antocyjanów może być również skutkiem wywoływanych przez metal zaburzeń gospodarki wodnej i deficytu wody w roślinie [Grzesiuk i in. 2008].

Do najczęściej występujących objawów toksycznego działania Pb^{2+} na rośliny należy chloroza liści wywołana zahamowaniem syntezy barwników fotosyntetycznych [Woźny 1995, Sharma i Dubey 2005]. Może to być wynikiem dezaktywacji kluczowych enzymów na szlaku ich syntezy, w szczególności dehydratazy kwasu δ -aminolewulinowego, zaburzeń w pobieraniu przez rośliny niezbędnych makroelementów, jak magnez i żelazo, zastępowania magnezu w strukturze chlorofilu przez jon innego metalu lub też zwiększonej aktywności



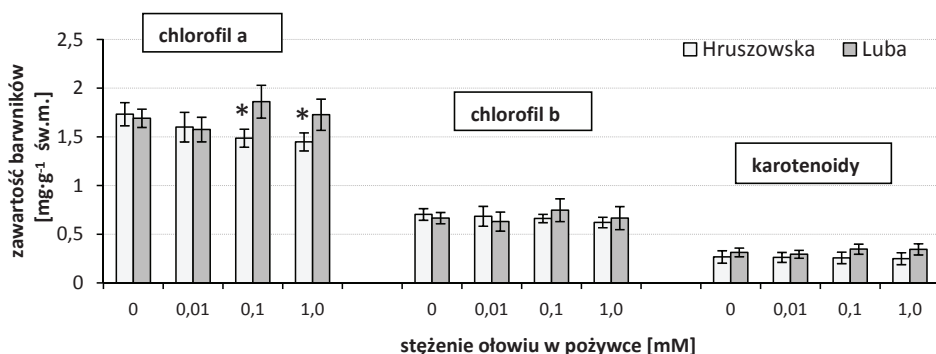
Rys. 2. Zawartość antocyjanów ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ świeżej masy) w liścieniach i hipokotylach siewek badanych odmian gryki zwyczajnej w zależności od zawartości ołowiu w pożywce; wartości średnie z 6 niezależnych powtórzeń \pm przedział ufności przy $P=95\%$, * – różnica istotna statystycznie w stosunku do próby kontrolnej ($p<0,05$)

Fig. 2. Content of anthocyanins ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ fresh weight) in the cotyledons and hypocotyls of examined cultivars of common buckwheat in relation to the lead dose in the medium; results are means from 6 independent replicates \pm confidence intervals at $P=95\%$, * – mean is significantly different from control ($p<0,05$)

chlorofilazy [Słowik 1999]. Wpływ jonów Pb^{2+} na akumulację barwników fotosyntetycznych u badanych odmian gryki okazał się jednak niewielki. Zawartość chlorofilu zmniejszyła się tylko u odmiany Hruszowska w obecności wysokich stężeń Pb^{2+} (0,1 i 1,0 mM) (rys. 3), co było związane wyłącznie ze zmniejszeniem zawartości chlorofilu a, gdyż zawartość chlorofilu b utrzymywała się na poziomie zbliżonym do kontroli. Podobną reakcję zaobserwował Ghani [2010], badając wrażliwość na ołów dwóch odmian kukurydzy. U odmiany bardziej wrażliwej zawartość chlorofilu zmniejszała się ze wzrostem stężenia metalu, u odmiany tolerancyjnej natomiast – nie zmieniała się. Zmniejszenie zawartości chlorofilu a jest częstym objawem toksyczności metali ciężkich, gdyż powodują one przekształcenie go w chlorofil b na skutek utlenienia grupy metylowej w pierścieniu II do grupy aldehydowej [Chettri i in. 1998].

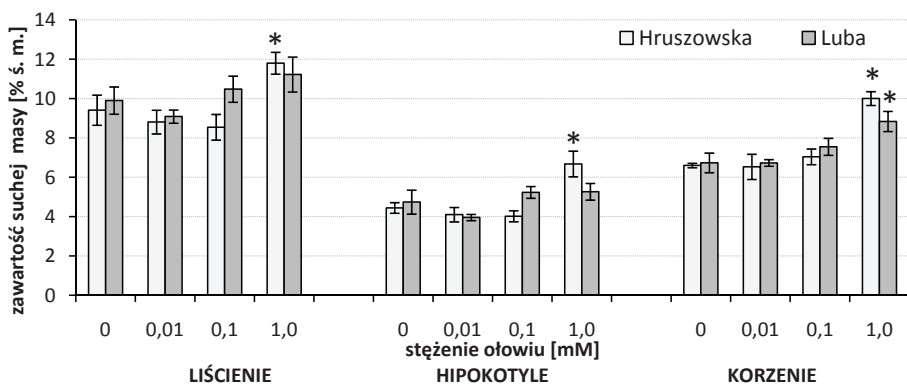
Podczas niniejszych badań nie stwierdzono istotnego wpływu zastosowanych stężeń ołowiu na poziom karotenoidów, chociaż u innych gatunków zmniejszeniu zawartości chlorofilu pod wpływem jonów Pb^{2+} towarzyszyło zmniejszenie zawartości tych barwników [Słowik 1999].

Duże stężenie jonów ołowiu (1,0 mM) powodowało wzrost poziomu suchej masy w siewkach badanych odmian gryki zwyczajnej (rys. 4). Wpływ ten był silniejszy u odmiany Hruszowskiej, u której zawartość suchej masy w porównaniu do kontroli zwiększyła się odpowiednio o ok. 24% w liścieniach oraz ok. 50% w korzeniach i hipokotylach. U siewek



Rys. 3. Zawartość barwników asymilacyjnych ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ świeżej masy) w liścieniach siewek badanych odmian gryki zwyczajnej w zależności od zawartości ołowiu w pożywce; wartości średnie z 6 niezależnych powtórzeń \pm przedział ufności przy $P=95\%$, * – różnica istotna statystycznie w stosunku do próby kontrolnej ($p<0,05$)

Fig. 3. Content of assimilation pigments ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ fresh weight) in the cotyledons of examined cultivars of common buckwheat in relation to the lead dose in the medium; results are means from 6 independent replicates \pm confidence intervals at $P=95\%$, * – mean is significantly different from control ($p<0,05$)



Rys. 4. Zawartość suchej masy (% świeżej masy) w liścieniach, hipokotylach i korzeniach siewek badanych odmian gryki zwyczajnej w zależności od zawartości ołowiu w pożywce; wartości średnie z 6 niezależnych powtórzeń \pm przedział ufności przy $P=95\%$,* – różnica istotna statystycznie w stosunku do próby kontrolnej ($p<0,05$).

Fig. 4. Level of dry matter (% fresh weight) in the cotyledons, hypocotyls and roots of examined cultivars of common buckwheat in relation to the lead dose in the medium; results are means of 6 independent replicates \pm confidence intervals at $P=95\%$, * – mean is significantly different from control ($p<0,05$)

odmiany Luba statystycznie istotna różnica wystąpiła tylko w korzeniach, gdzie pod wpływem 1,0 mM stężenia jonów ołowiu zawartość suchej masy zwiększyła się o około 30%. Taki efekt można tłumaczyć wzmożoną syntezą hemiceluloz i związków pektynowych, dzięki którym ściany komórkowe stają się grubsze i tym samym powiększa się ich zdolność do wiązania i unieszkodliwiania jonów metalu [Wierzbička 1998]. Inną przyczyną może być zmniejszenie zawartości wody w tkankach, spowodowane mniejszym jej pobieraniem na skutek uszkodzeń błony komórkowej w wyniku peroksydacji lipidów oraz blokowania kanałów wodnych (akwaporyn) przez jony metali [Seregin i Ivanov 2001].

4. WNIOSKI

1. Toksyczne oddziaływanie jonów ołowiu na badane odmiany gryki zwyczajnej było bardziej nasilone w korzeniach niż w organach nadziemnych.
2. Małe stężenie jonów Pb^{2+} ($10^{-5}M$) stymulowało wzrost korzeni siewek, duże natomiast ($10^{-3}M$) znacząco hamowało wzrost, zarówno korzeni, jak i hipokotyli.
3. Duże stężenie Pb^{2+} w pożywce zwiększało poziom suchej masy w siewkach obu badanych odmian gryki zwyczajnej.
4. Zawartość antocyjanów w odmianie Hruszowska była mniejsza niż w odmianie Luba. Dodanie jonów Pb^{2+} do pożywki wzmacniało syntezę barwników w tkankach obu odmian.
5. Zastosowane stężenia Pb^{2+} miały niewielki wpływ na zawartość barwników asymilacyjnych w siewkach badanych odmian gryki zwyczajnej.
6. Spośród badanych odmian bardziej wrażliwa była odmiana Hruszowska, u której efekty toksycznego działania jonów Pb^{2+} były wyraźniejsze.

PIŚMIENNICTWO

- CALABRESE E. J., BALDWIN L. A. 2003. The hormesis model is more frequent than the threshold model in toxicology. *Toxicol. Sci.* 71: 246–250.
- CHALKER-SCOTT L. 2002. Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues? *Adv. Bot. Res.* 37: 104–129.
- CHEITRI M. K., COOK C. M., VARDAKA E., SAWIDIS T., LANARAS T. 1998. The effects of Cu, Zn and Pb on the chlorophyll content of the lichens *Cladonia convoluta* and *Cladonia rangiformis*. *Environ. Exp. Bot.* 39: 1–10.
- DAVIS J. B., BARNES R. L. 1973. Effects of soil-applied fluoride and lead on growth of loblolly pine and red maple. *Environ. Pollution* 5: 35–44.
- GHANI A. 2010. Effect of lead toxicity on growth, chlorophyll and lead (Pb^{+}) contents of two varieties of maize (*Zea mays* L.). *Pak. J. Nutr.* 9: 887–891.
- GRUCA-KRÓLIKOWSKA S., WACŁAWEK W. 2006. Metale w środowisku. Cz. II Wpływ metali ciężkich na rośliny. *Chemia. Dydaktyka. Ekologia. Metrologia.* R1 Nr 1–2.

- GRZESIUŁ A., DĘBSKI H., HORBOWICZ M. 2008. Wpływ wybranych czynników na akumulację antocyjanów w roślinach. *Post. Nauk Rol.* 1: 81–89.
- HALE K. L., TUFANA H. A., PICKERING I. J., GEORGE G. N., TERRY N., PILON M., PILON-SMITHS E. A. H. 2002. Anthocyanins facilitate tungsten accumulation in Brassica. *Physiol. Plant.* 116: 351–358.
- HONDA M., TAMURA H., KIMURA T., KINOSHITA T., MATSUFURU H., SATO T. 2007. Control of lead polluted leachate in a box-scale phytoremediation test using common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) grown on lead contaminated soil. *Environ Technol.* 28: 425–431.
- HORBOWICZ M., GRZESIUŁ A., DĘBSKI H., KOCZKODAJ D., SANIEWSKI M. 2008. Methyl jasmonate inhibits anthocyanin synthesis in seedlings of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Acta Biol. Crac. Ser. Bot.* 50: 71–78.
- KARAVAEV V. A., BAULIN A. M., GORDIENKO T. V., DOVYDKOV S. A., TIKHON A. N. 2001. Changes in the photosynthetic apparatus of broad bean leaves as dependent on the content of heavy metals in the growth medium. *Russ. J. Plant Physiol.* 48: 38–44
- KRUPA Z., BARANOWSKA M., ORZOŁ D. 1996. Can anthocyanins be considered as heavy metal indicator in higher plants? *Acta Physiol. Plant.* 18: 147–151.
- KRUPA Z., ÖQVIST G., HUNER N. 1993. The effect of cadmium on photosynthesis of *Phaseolus vulgaris* – a fluorescence analysis. *Physiol. Plant.* 88: 626–630.
- LICHTENTHALER H. K., WELLBURN, A. R. 1985. Determination of total carotenoids and chlorophylls A and B of leaf in different solvents. *Biol. Soc. Trans.* 11: 591–592.
- MANCINELLI A. L. 1984. Photoregulation of anthocyanin synthesis. VIII. Effects of light pre-treatments. *Plant Physiol.* 75: 447–453.
- NYITRAI P., BOKA K., GASPARI L., SARVARI E., LENTI K., KERESZTES A. 2003. Characterization of the stimulating effect of low-dose stressors in maize and bean seedlings. *Plant Physiol.* 160: 1175–1183.
- OBROUCHEVA N. V., BYSTROVA E. I., IVANOV V. B., SEREGIN I. V. 1998. Root growth response to lead in young maize seedlings. *Plant Soil* 200: 55–61.
- OLKO A. 2009. Fizjologiczne aspekty tolerancji roślin na metale ciężkie. *Kosmos* 58: 282–283.
- SEREGIN I. V., IVANOV V. B. 2001. Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. *Rus. J. Plant Physiol.* 48: 523–544.
- SHARMA P., DUBEY R. S. 2005. Lead toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.* 17: 35–52.
- SHEN R. F., CHEN R. F., MA J. F. 2006. Buckwheat accumulates aluminum in leaves but not in seeds. *Plant Soil* 284: 265–271.
- SŁOWIK D. 1999. Wpływ ołowiu na fotosyntezę. *Wiad. Bot.* 43: 41–49.
- TAMURA H., HONDA M., SATO S., KAMACHI H. 2005. Pb hyperaccumulation and tolerance in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *J. Plant Res.* 118: 355–359.

- WIERZBICKA M. 1994. Resumption of mitotic activity in *Allium cepa* L. root tips during treatment with lead salts. Environ. Exp. Bot. 34: 173–180.
- WIERZBICKA M. 1998. Lead in apoplast of *Allium cepa* L. root tips – ultrastructural studies. Plant Sci. 133: 105–119.
- WÓJCIK M., TUKENDORF A. 1999. Cd-tolerance of maize, rye and wheat seedlings. Acta Physiol. Plant. 21: 99–107.
- WOŹNY A. 1995. Ołów w komórkach roślinnych. Pobieranie. Reakcje. Odporność. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- ZGLINICKA A. 2002. Toksyczność kadmu i ołowiu. Aura (2): 30–31.
- ŻUREK G., MAJKOWSKI W. 2009. Rośliny alternatywne w fitoekstrakcji metali ciężkich z obszarów skażonych. Prob. Inż. Roln. 3: 83–89.