

Katedra Uprawy i Nawożenia Roślin Ogrodniczych Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie
ul. S. Leszczyńskiego 58, 20-068 Lublin
e-mail: zbigniew.jarosz@up.lublin.pl

ZBIGNIEW JAROSZ, KATARZYNA DZIDA, KAROLINA PITURA,
JOANNA KONOPIŃSKA, LIDIA NOWAK

Przydatność kwasu 5-aminolewulinowego w procesie fitoekstrakcji kadmu

Usefulness of 5-aminolevulinic acid in cadmium phytoextraction process

Streszczenie. Celem badań przeprowadzonych nad słonecznikiem zwyczajnym (*Helianthus annuus*) uprawianym w szklarni, w podłożu zawierającym $200 \text{ mg Cd} \cdot \text{dm}^{-3}$, była ocena wpływu stosowania pozakorzeniowo kwasu 5-aminolewulinowego (5-ALA) na produktywność oraz skład chemiczny roślin. W badaniach odnotowano spadek o 12,4% masy części nadziemnej słonecznika uprawianego w obiektach z dodatkiem $200 \text{ mg Cd} \cdot \text{dm}^{-3}$ podłoża w porównaniu z obiektem kontrolnym, niezawierającym kadmu. U roślin opryskiwanych roztworem kwasu 5-ALA o stężeniach 0,01; 0,05; $0,1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ odnotowano wzrost masy nadziemnej o 10,1–23,4% w porównaniu ze słonecznikiem rosnącym na podłożu zawierającym $200 \text{ mg Cd} \cdot \text{dm}^{-3}$ bez stosowania oprysków kwasem 5-ALA. W liściach słonecznika opryskiwanego roztworem kwasu 5-ALA odnotowano o 9,9–27,0% więcej kadmu w porównaniu z roślinami nieopryskiwany tym związkiem. W pędach słonecznika opryskiwanego roztworem kwasu 5-ALA odnotowano wzrost zawartości kadmu o 10,4–29,1%, natomiast w korzeniach o 19,3–48,3%, w porównaniu z roślinami nieopryskiwany roztworem kwasu 5-ALA.

Słowa kluczowe: metale ciężkie, fitoremediacja, słonecznik zwyczajny, skład chemiczny

WSTĘP

Fitoekstrakcja uznawana jest obecnie za najefektywniejszy i jednocześnie najbezpieczniejszy dla środowiska sposób oczyszczenia gleby z metali ciężkich [Salt i in. 1998, Bosiacki 2009, Bosiacki i Zieleziński 2011, Jarosz i in. 2013]. Jak wykazują liczne badania, alternatywą dla naturalnych hiperakumulatorów może być indukcja bioakumulacji metalu [Małkowski 2011, Jarosz i in. 2013]. W procesie fitoekstrakcji indukowanej wy-

korzystuje się popularne gatunki uprawne wytwarzające odpowiednio dużą masę wegetatywną (np. gorczyca sarepska, słonecznik zwyczajny) i stymuluje się je do pobierania metali ciężkich poprzez dodanie do gleby lub zastosowanie bezpośrednio na rośliny specyficznych substancji. Jako substancje indukujące fitoekstrakcję używane są najczęściej dokorzeniowe chelatory (np. EDTA, EDDS, DTPA, NTA), chociaż liczne badania wskazują również na możliwość stymulacji pozakorzeniowej [Małkowski 2011, Jarosz i in. 2013].

Jednym ze związków mogących stymulować pobieranie metalu ciężkiego przez rośliny i dalszy transport do części nadziemnej jest kwas 5-aminolewulinowy (5-ALA) [Jarosz i in. 2013]. Kwas 5-ALA to niebiałkowy aminokwas występujący w każdym żywym organizmie, a u roślin pełniący funkcję prekursora chlorofilu [Tanaka i in. 2005, Jarosz 2012]. Memon i in. [2009] przy pozakorzeniowym stosowaniu kwasu 5-aminolewulinowego w uprawie kapusty chińskiej wykazali większą aktywność fotosyntetyczną oraz antyoksydacyjną roślin. W licznych badaniach wykazano istotny wzrost pobierania składników pokarmowych oraz jonów balastowych przez rośliny regularnie opryskiwane roztworem kwasu 5-ALA [Hertog 2008, Smoleń i Sady 2010, Jarosz i in. 2013].

Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu pozakorzeniowego stosowania kwasu 5-aminolewulinowego na produktywność oraz skład chemiczny słonecznika uprawianego w warunkach podwyższonej zawartości kadmu w środowisku korzeniowym.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w 2012 r. w szklarni doświadczalnej Katedry Uprawy i Nawożenia Roślin Ogrodniczych Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, w ramach projektu nr 225 „Wsparcie Regionalnej Sieci Współpracy” Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki 2007–2013. Rośliną doświadczalną był słonecznik zwyczajny (*Helianthus annuus*) uznany za gatunek przydatny w procesie fitoekstrakcji [Bosiacki i Wojciechowska 2012], jak również fitoekstrakcji indukowanej [Kucharski i in. 1998]. Rośliny uprawiano od 2 lipca do 12 września w doniczkach o pojemności 5 dm³ wypełnionych podłożem torfowym o pH 6,5, po 3 w każdej doniczce, w 8 powtórzeniach. Powtórzenie stanowiła doniczka z 3 roślinami. W układzie doświadczenia uwzględniono następujące obiekty:

I – kontrola: rośliny uprawiane bez dodatku kadmu do podłoża i nieopryskiwane roztworem 5-ALA;

II – 200 mg Cd · dm⁻³ podłoża i bez oprysków roztworem 5-ALA;

III – 200 mg Cd · dm⁻³ + 7-krotne opryskiwanie roztworem 0,01 mg 5-ALA · dm⁻³;

IV – 200 mg Cd · dm⁻³ + 7-krotne opryskiwanie roztworem 0,05 mg 5-ALA · dm⁻³;

V – 200 mg Cd · dm⁻³ + 7-krotne opryskiwanie roztworem 0,1 mg 5-ALA · dm⁻³.

Kadm do podłoża zaaplikowano w postaci azotanu kadmu Cd(NO₃)₂ · 4 H₂O, w dwu równych dawkach: po 100 mg Cd · dm⁻³, w odstępach 7-dniowych, po posadzeniu roślin do doniczek. Nawożenie przed posadzeniem roślin oraz uzupełniające w trakcie badań prowadzono na podstawie zaleceń Kończak-Konarowskiej [2009], z użyciem nawozu wieloskładnikowego Nutrifol oraz nawozów jedno- i dwuskładnikowych (saletra wapniowa, saletra amonowa, siarczan potasu, siarczan magnezu).

Opryskiwanie roślin roztworami kwasu 5-aminolewulinowego prowadzono co 10 dni, od fazy 4 wykształconych liści właściwych, zgodnie ze schematem badań. Rośliny kontrolne opryskiwano wodą.

Po zakończeniu doświadczenia określono masę części nadziemnych roślin oraz pobrano próby materiału do analiz – oddzielnie liście, łodygi, kwiatostany i korzenie. Materiał roślinny wysuszono w suszarce (105°C). Po wysuszeniu w próbkach oznaczono azot ogółem metodą Kjeldahla (Tecator). Po mineralizacji materiału metodą „na mokro”, tj. w mieszaninie kwasu azotowego (65%) i nadchlorowego w proporcji $v : v = 3 : 1$, wykonanej na mineralizatorze DK-20 (Velp), oznaczono: fosfor kolorymetrycznie z wanadomolibdianem amonu, natomiast potas, wapń, magnez, sód, żelazo, cynk, miedź, mangan i kadm metodą absorpcji atomowej na aparacie Perkin-Elmer – Analyst 300 [Ostrowska i in. 1991].

Opracowanie statystyczne wyników przeprowadzono metodą analizy wariancji na wartościach średnich programem ArtStart, stosując do oceny różnic test Tukeya, przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

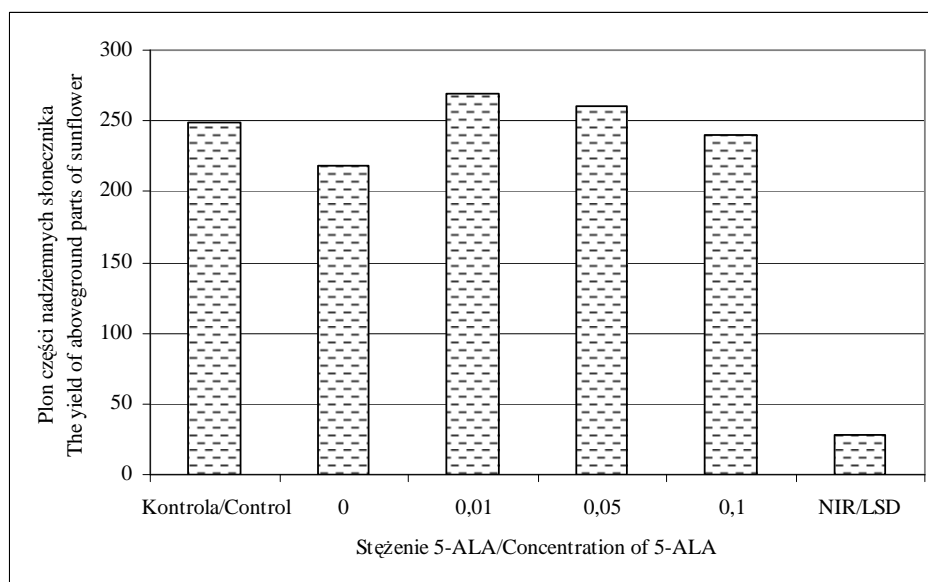
WYNIKI I DYSKUSJA

Fitoekstrakcja jest przyjazną dla środowiska metodą oczyszczania gleb z metali ciężkich, poddawaną obecnie intensywnym badaniom [Bosiacki 2013]. Według Karczewskiej i in. [2008] jedynie fitoekstrakcja indukowana, zwana również wspomaganą lub wymuszoną hiperakumulacją, daje szansę usunięcia metali z gleb w relatywnie krótkim czasie. W większości badań nad fitoekstrakcją indukowaną czynnikiem wspomagającym bioabsorpcję metalu ciężkiego z gleby są substancje kompleksujące dodawane do środowiska korzeniowego, zwiększające mobilność i fitoprzyswajalność niebezpiecznego czynnika [Kutryś i Gawroński 2000, Meers i in. 2005, Nascimento i in. 2006]. Jednak przejściowy wzrost rozpuszczalności i mobilności metali ciężkich w glebie po dodaniu substancji wspomagającej fitoekstrakcję może stwarzać poważne zagrożenie dla środowiska, zwłaszcza dla wód podziemnych [Evangelou i in. 2007, Karczewska i in. 2008]. Zdaniem Evangelou i in. [2007] uboczne skutki stosowania tej metody wręcz wykluczają jej stosowanie. Rozwiązaniem ograniczającym to zagrożenie może być wykorzystanie do indukcji fitoekstrakcji substancji podawanej pozakorzeniowo, efektywnie wspomagającej pobieranie i transport metali ciężkich do części nadziemnych roślin [Małkowski 2011, Jarosz i in. 2013].

We wstępnych badaniach wykazano, iż substancją taką może być kwas 5-aminolewulinowy [Jarosz i in. 2013]. Tanaka [2007] podaje, iż regularne stosowanie tego związku w postaci oprysku na rośliny powoduje wzrost wydajności fotosyntezy o 20%. Jednocześnie obserwuje się intensywniejszą transpirację. Według Żurka i Majtkowskiego [2009] głównym czynnikiem warunkującym efektywność procesu fitoekstrakcji jest ilość wody wraz z rozpuszczonymi w niej substancjami (m.in. metalami ciężkimi) pobierana i transportowana w roślinie w jednostce czasu.

Podstawą skuteczności fitoekstrakcji wspomaganiej jest wytworzenie przez rośliny odpowiednio dużej masy części nadziemnych. Przeprowadzone badania wykazały istotny spadek (o 12,4%) masy części nadziemnej słonecznika uprawianego w obiektach zawie-

rających $200 \text{ mg Cd} \cdot \text{dm}^{-3}$ (bez aplikowania 5-ALA) w porównaniu z kontrolą (rys. 1). Podobny spadek masy roślin uprawianych w obecności kadmu odnotowali Majtkowski i in. [2010] oraz Antonkiewicz i Jasiewicz [2002]. Zdaniem Grucy-Królikowskiej i Wacławka [2006] spadek produktywności roślin rosnących na stanowiskach zanieczyszczonych kadmem jest spowodowany głównie obniżeniem wydajności fotosyntezy. W obiektach opryskiwanych roztworem 5-ALA o stężeniu $0,01\text{--}0,1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ odnotowano istotny wzrost masy roślin (o $10,1\text{--}23,4\%$) w porównaniu z roślinami nieopryskiwanymi roztworem 5-ALA, rosnącymi na podłożu zawierającym $200 \text{ mg Cd} \cdot \text{dm}^{-3}$.



Rys. 1. Całkowity plon części nadziemnych słonecznika zwyczajnego ($\text{g} \cdot \text{roślina}^{-1}$) w zależności od zastosowanego stężenia kwasu 5-aminolewulinowego ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) przy $200 \text{ mg Cd} \cdot \text{dm}^{-3}$ podłoża
Fig. 1. The total yield of aboveground parts of sunflower ($\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$) depending on the concentration of 5-aminolevulinic acid ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) at $200 \text{ mg Cd} \cdot \text{dm}^{-3}$ substrate

Według Tyksińskiego [2002] powodem spadku masy roślin rosnących na stanowiskach zanieczyszczonych metalami ciężkimi są zakłócenia w pobieraniu, transporcie i asymilacji makro- i mikrośladników. Zdaniem tego autora ujemny wpływ metali ciężkich na pobieranie i transport kationów i anionów pokarmowych jest rezultatem współzawodnictwa w pobieraniu przez korzenie lub tworzenia nieprzyswajalnych kompleksów. Wyniki uzyskane w prezentowanych badaniach potwierdzają istnienie analogicznych zależności (tab. 1–4). W liściach słonecznika rosnącego w podłożu z dodatkiem $200 \text{ mg Cd} \cdot \text{dm}^{-3}$ stwierdzono istotnie mniej cynku ($25,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$), manganu ($41,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$) i miedzi ($1,81 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$) w porównaniu z roślinami kontrolnymi. W pędach roślin uprawianych w obiektach o podwyższonej zawartości kadmu wykazano istotnie mniej cynku ($14,9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$), manganu ($40,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$) i miedzi ($1,04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$), natomiast w korzeniach istotnie mniej potasu ($2,28\% \text{ s.m.}$), w porównaniu z kontrolą.

Tabela 4. Zawartość wybranych pierwiastków w korzeniach słonecznika zwyczajnego w zależności od zastosowanego stężenia kwasu 5-aminolewulinowego przy 200 mg Cd · dm⁻³ podłoża
 Table 4. The contents of selected elements in sunflower roots depending on the concentration of 5-aminolevulinic acid at 200 mg Cd · dm⁻³ substrate

Objekt Treatment	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn	Cu	Cd
	% s.m./d.w.			mg · kg ⁻¹ s.m./d.w.					
Kontrola/Control	3,00	0,99	0,12	50,3	330,0	21,1	55,1	3,32	0,00
0,00 mg 5-ALA · dm ⁻³	2,28	0,88	0,11	31,4	649,6	29,3	38,2	8,27	484,5
0,01 mg 5-ALA · dm ⁻³	2,63	1,00	0,13	43,2	598,4	26,0	37,7	5,57	577,9
0,05 mg 5-ALA · dm ⁻³	2,47	1,05	0,12	31,6	663,7	32,1	40,2	5,43	610,1
0,1 mg 5-ALA · dm ⁻³	2,67	0,97	0,14	38,5	525,2	24,1	41,3	4,91	721,5
Średnio/Mean	2,61	0,98	0,12	39,0	553,4	26,5	42,5	5,50	598,5
NIR _{0,05} /LSD _{0,05}	0,30	r.n. n.s.	r.n. n.s.	r.n. n.s.	173,6	r.n. n.s.	r.n. n.s.	r.n. n.s.	107,5

Interesująco przedstawiają się wyniki dotyczące zawartości składników pokarmowych w poszczególnych częściach słonecznika opryskiwanego roztworem kwasu 5-ALA o zróżnicowanym stężeniu (tab. 1–4). Analiza statystyczna uzyskanych wyników wykazała istotne zróżnicowanie zawartości azotu ogółem, wapnia, żelaza, manganu i cynku w liściach; sodu, żelaza i cynku w pędach; wapnia w kwiatostanach oraz potasu i żelaza w korzeniach słonecznika. Z doniesień literaturowych wynika, iż pozakorzeniowe stosowanie kwasu 5-aminolewulinowego powoduje istotny wzrost zawartości składników pokarmowych w roślinach [Jarosz 2012, Hertog 2008, Smoleń i Sady 2010]. Wyniki uzyskane w prezentowanych badaniach dowodzą, iż efekt ten jest ściśle uzależniony od stężenia aplikowanego na rośliny kwasu 5-aminolewulinowego (tab. 1–4).

Analiza wyników uzyskanych w przeprowadzonych badaniach wykazała wzrost koncentracji kadmu w liściach słonecznika opryskiwanego roztworem kwasu 5-ALA o stężeniach 0,01; 0,05; 0,1 mg · dm⁻³ o 9,9–27,0% w porównaniu z roślinami rosnącymi w obiektach zawierających 200 mg Cd · dm⁻³ podłoża, ale nieopryskiwanym roztworem kwasu 5-ALA. Istotny wzrost zawartości kadmu, tj. o 10,4%–29,1%, odnotowano również w pędach słonecznika opryskiwanego roztworem kwasu 5-ALA. W korzeniach słonecznika opryskiwanego pozakorzeniowo roztworem kwasu 5-ALA o stężeniu 0,05 i 0,1 mg · dm⁻³ odnotowano istotny wzrost zawartości kadmu: o 25,9–48,9% w porównaniu z roślinami nieopryskiwanymi tym związkiem (tab. 4). Jest to wynik ważny dla oceny efektywności induktora fitoekstrakcji. W licznych badaniach potwierdzono, iż najwięcej metali ciężkich kumulują korzenie [Gadapati i Macfie 2006, Kurtyka i in. 2008]. Jak podaje Małkowski [2011], podstawowym parametrem oceny przydatności substancji wykorzystywanej do indukcji fitoekstrakcji jest jej wpływ na przemieszczenie metalu z korzeni do części nadziemnej. Uzyskanie wysokiej koncentracji metalu ciężkiego w częściach nadziemnych roślin wykorzystywanych w procesie fitoekstrakcji jest jednym z podstawowych czynników warunkujących jej efektywność i opłacalność [Luo i in. 2005].

Przeprowadzone badania wykazały, iż najkorzystniejsze dla indukowanej fitoekstrakcji było opryskiwanie słonecznika roztworem kwasu 5-ALA w stężeniu 0,01 oraz 0,05 mg · dm⁻³. Uzyskane wyniki wskazują na konieczność dalszych badań nad efektywnością kwasu 5-aminolewulinowego w procesie fitoekstrakcji indukowanej w zakresie

zmiany koncentracji lub częstotliwości i sposobu aplikacji. Celowe wydaje się również potwierdzenie efektywności działania tego związku na inne gatunki.

WNIOSKI

1. Stwierdzono istotnie mniejszą masę nadziemną słonecznika uprawianego w podłożu z dodatkiem $200 \text{ mg Cd} \cdot \text{dm}^{-3}$ w porównaniu z roślinami rosnącymi w obiektach bez dodatku tego pierwiastka.

2. Opryskiwanie roślin rosnących w podłożu zawierającym $200 \text{ mg Cd} \cdot \text{dm}^{-3}$ roztworem kwasu 5-ALA o stężeniach 0,01; 0,05; 0,1 ppm spowodowało wzrost masy nadziemnej słonecznika o 10,1–23,4%.

3. W obiektach opryskiwanych roztworem kwasu 5-ALA odnotowano zwiększenie zawartości kadmu w liściach o 9,9–27,0%, w pędach o 10,4–29,1% oraz w korzeniach słonecznika o 19,3–48,3%, w porównaniu z roślinami nieopryskiwanymi tym związkiem.

PIŚMIENNICTWO

- Antonkiewicz J., Jasiewicz C., 2002. Ocena przydatności różnych gatunków roślin do fitoremediacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumictus* 1–2, 119–130.
- Bosiacki M., 2009. Phytoextraction of cadmium and lead by selected cultivars of *Tagetes erecta* L. Part I. Effect of Cd and Pb on yielding. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 8 (2), 3–13.
- Bosiacki M., 2013. Ocena przydatności miskanta olbrzymiego (*Miscanthus × giganteus* Greef et Deu.) do fitoekstrakcji miedzi i cynku z gleb. *Nauka Przyr. Technol.* 7 (3), 1–16.
- Bosiacki M., Wojciechowska E., 2012. Phytoextraction of nickel by selected ornamental plants. *Ecol. Chem. Eng.* 19 (3), 331–345.
- Bosiacki M., Zieleziński Ł., 2011. Phytoextraction of nickel by selected species of lawn grasses from substrates contaminated with heavy metals. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 10 (3), 155–173.
- Evangelou M.W.H., Ebel M., Scheaffer A., 2007. Chelate assisted phytoextraction of heavy metals from soil. Effect, mechanism, toxicity, and fate of chelating agents. *Chemosphere* 68, 989–1003.
- Gadapati W.R., Macfie S.M., 2006. Phytochelatins are only partially correlated with Cd-stress in two species of *Brassica*. *Plant Sci.* 170, 471–480.
- Gruca-Królikowska S., Waclawek W., 2006. Metale w środowisku. Cz. II. Wpływ metali ciężkich na rośliny. *Chem. Dydakt. Ekol. Metrol.* 11 (1–2), 41–56.
- Hertog C. den, 2008. Effect of Pentakeep fertilizers in greenhouse production. Pentakeep International Scientific Workshop 2008 in Italy, 8–9 December, Milan, Italy.
- Jarosz Z., 2012. Wpływ nawozu Pentakeep® V na plonowanie oraz zawartość wybranych makro- i mikroelementów w sałacie. *Annales UMCS, sec. EEE, Horticultura* 22 (1), 1–8.
- Jarosz Z., Dzida K., Pitura K., Konopińska J., 2013. The possibility of using 5-aminolevulinic acid in lead phytoextraction process. *Mod. Phytomorphol.* 3, 57–62.
- Karczewska A., Kabała C., Gałka B., Kocan K., Orłów K., 2008. Zmiany rozpuszczalności miedzi, ołowiu i cynku oraz ich pobieranie przez kukurydzę w doświadczeniu nad zastosowaniem indukowanej fitoekstrakcji z gleb zanieczyszczonych emisjami hut miedzi. *Rocz. Glebozn.* (59) 3/4, 97–107.

- Kończak-Konarowska B., 2009. Podstawy zaleceń nawozowych w ogrodnictwie. Krajowa Stacja Chemiczno-Rolnicza, Warszawa
- Kucharski R., Sas-Nowosielska A., Małkowski E., 1998. Treatability study report. Integrated approach to the remediation of heavy metal-contaminated land. U.S. Department of Energy.
- Kurtyka R., Małkowski E., Kita A., Karcz W., 2008. Effect of calcium and cadmium on growth and accumulation of cadmium, calcium, potassium, and sodium in maize seedlings. Pol. J. Environ. Stud. 17, 51–56.
- Kutryś S., Gawroński S.W., 2000. Wykorzystanie wybranego gatunku ze stanowisk naturalnych w procesie fitoekstrakcji. Zesz. Nauk. Politech. Śl., Inżynieria Środowiska 45, 65–69.
- Luo C.L., Shen Z.G., Li X.D., 2005. Enhanced phytoextraction of Cu, Pb, Zn and Cd with EDTA and EDDS. Chemosphere 59, 1–11.
- Majtkowski W., Szulc P.M., Gaca J., Mikołajczyk J., 2010. Ocena wykorzystania *Silphium perfoliatum* L. w fitoremediacji terenów zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Biul. Inst. Hod. Klim. Rośl. 256, 163–169.
- Małkowski E., 2011. Modyfikacja procesu transpiracji a efektywność indukowanej fitoekstrakcji ołowiu i kadmu w wybranych gatunkach roślin. Wyd. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, 28–42.
- Memon S.A., Hou X., Wang L., Li Y., 2009. Promotive effect of 5-aminolevulinic acid on chlorophyll, antioxidative enzymes and photosynthesis of Pak Choi (*Brassica campestris* ssp. *Chinensis* var. *communis* Tsen et Lee). Acta Physiol. Plant. 31, 51–57.
- Meers E., Ruttens A., Hopgood M.J., Samson D., Tack F.M.G., 2005. Comparison of EDTA and EDDS as potential soil amendments for enhanced phytoextraction of heavy metals. Chemosphere 58, 1011–1022.
- Nascimento C.W.A. da, Amarasiriwarden D., Xing B., 2006. Comparison of natural organic acids and synthetic chelates at enhancing phytoextraction of metals from a multi-metal contaminated soil. Environ. Pollut. 140, 114–123.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z., 1991. Metody analizy i oceny gleb i roślin. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Salt D.E., Smith R.D., Raskin I., 1998. Phytoremediation. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 49, 643–668.
- Smoleń S., Sady W., 2010. Effect of plant biostimulation with Pentakeep V fertilizer and nitrogen fertilization on the content of macro- and micronutrients in spinach. J. Elem. 15 (2), 343–353.
- Tanaka T., 2007. Pentakeep series – revolution of fertilizers and agriculture. Pentakeep International Scientific Workshop in Prague, 7–9 December, Czech Republic.
- Tanaka T., Iwai K., Watanabe K., Hotta Z., 2005. Development of 5-aminolevulinic acid for agriculture uses. Regul. Plant Growth Devel. 40 (1), 22–29.
- Tyksiński W., 2002. Mechanizmy tolerancji na zwiększone zawartości metali ciężkich w glebach i podłożach. Rocz. AR w Poznaniu, Ogrodnictwo 209–214.
- Żurek G., Majtkowski W., 2009. Rośliny alternatywne w fitoekstrakcji metali ciężkich z terenów skażonych. Probl. Inż. Rol. 3, 83–89.

Podziękowania. Autorzy dziękują firmom Cosmo Seiwa Agriculture Ltd Japonia oraz Eniwa Sp. z o.o. za pomoc merytoryczną i techniczną umożliwiającą wykonanie badań.

Summary. The aim of studies carried out in the greenhouse on sunflower (*Helianthus annuus*) grown in the medium containing $200 \text{ mg Cd} \cdot \text{dm}^{-3}$ was to evaluate the impact of foliar nutrition with 5-aminolevulinic acid (5-ALA) on the productivity and chemical composition of the plants. Studies pointed to a 12.4% decrease of the weight of sunflower shoots grown in treatments with the addition of $200 \text{ mg Cd} \cdot \text{dm}^{-3}$ as compared to the control without cadmium. The study revealed a 10.1 to 23.4% increase in the aboveground matter of sunflower sprayed with 5-ALA solution at the concentrations of 0.01; 0.05; $0.1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ as compared to plants grown in the medium containing $200 \text{ mg Cd} \cdot \text{dm}^{-3}$ with no 5-ALA spraying. Sunflower leaves sprayed with 5-ALA solution contained from 9.9 to 27.0% more cadmium in comparison to plants not sprayed with the agent. In sunflower shoots sprayed with a solution of 5-ALA an increase of the cadmium content was observed from 10.4 to 29.1% and in the roots from 19.3 to 48.3%, compared to the plants not sprayed with a solution of 5-ALA.

Key words: heavy metals, phytoremediation, sunflower, chemical composition