

**Sylwester Smoleń\*, Joanna Wierzbńska\*, Marta Liszka-Skoczylas\*\*,  
Roksana Rakoczy\***

**WPŁYW FORMY JODU NA PLONOWANIE ORAZ JAKOŚĆ OWOCÓW  
POMIDORA UPRAWIANEGO W SYSTEMIE HYDROPONICZNYM CKP**

**THE EFFECT OF IODINE FORM ON YIELD QUANTITY AND  
BIOLOGICAL QUALITY OF TOMATO CULTIVATED IN HYDROPONICS  
SYSTEM NFT**

**Słowa kluczowe:** jod, pomidor, jakość biologiczna, cukry, likopen.

**Key words:** iodine, tomato, biological quality, soluble sugars, lycopene.

*Plants biofortified with iodine may become an alternative, to iodized salt, source of this element in human diet. Iodine is not a nutrient for plants. Thus, in description of agrotechnical methods of biofortification there is an urgent need to determine the effect of iodine application on yield quantity and biological quality of plants. The aim of the study was to determine the influence of iodine application in two forms ( $I^-$  and  $IO_3^-$ ) on yield quantity and quality of tomato fruits (*Lycopersicon esculentum* Mill.). In 2010 tomato cv. 'Rambozo F<sub>1</sub>' was cultivated in Nutrient Film Technique system (NFT).*

*The following treatments were applied in the experiment:*

- 1) control;
- 2) 1 mg  $I^-$   $dm^{-3}$  nutrient solution in KI form;
- 3) 1 mg  $I^-$   $dm^{-3}$  nutrient solution in  $KIO_3$  form.

*In both tested combinations a significant decrease of lycopene and increase of ascorbic acid content were observed in comparison to the control in tomato fruits harvested from the third cluster. Iodine application in the form of  $KIO_3$  had a positive effect on biological qual-*

---

\* *Dr inż. Sylwester Smoleń, mgr inż. Joanna Wierzbńska, mgr inż. Roksana Rakoczy – Katedra Uprawy Roli i Nawożenia Roślin Ogrodniczych, Wydział Ogrodniczy, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Al. 29 Listopada 54, 31-425 Kraków; tel.: 12 662 52 39; e-mail: s.smolen@ogr.ur.krakow.pl*

\*\* *Dr Marta Liszka-Skoczylas – Katedra Inżynierii i Aparatury Przemysłu Spożywczego, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 122, 30-149 Kraków; tel.: 12 662 47 62; e-mail: m.liszka-skoczylas@ur.krakow.pl*

*ity of tomato fruits because of significant increase of total acidity of extract and total content of soluble sugars (including glucose and fructose). No important influence of tested factors was noted for the tomato content of: dry mass,  $\beta$ -carotene, phenolic compounds, phenylpropanoids, flavonols, anthocyanins and total yield of fruits.*

## 1. WPROWADZENIE

Jod jest ważnym mikroskładnikiem pokarmowym dla ludzi i innych ssaków. Odpowiada między innymi za funkcjonowanie hormonów tarczycy. Niedobór jodu w diecie może prowadzić do dysfunkcji tego gruczołu. Endemiczny niedobór jodu prowadzi do ciężkich schorzeń, na przykład do kretynizmu czy choroby Kaszina-Beck'a, związanej z jednoczesnym niedoborem selenu i jodu [Lin i in. 2004].

W celu przeciwdziałania niedoborowi jodu u ludzi w wielu krajach stosuje się suplementację diety w ten pierwiastek przez jodowanie soli kuchennej. W wymiarze populacyjnym jest to skuteczny sposób introdukcji jodu do diety człowieka. Jednakże nadmierne spożycie soli spowodowało zwiększenie zachorowalności ludzi na choroby układu krążenia. Dlatego też WHO opracowała „Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health” – program zaplanowany na lata 2008–2013. Obejmuje on między innymi ograniczenie spożycia soli przy jednoczesnym poszukiwaniu alternatywnych (do jodowania soli kuchennej) sposobów wprowadzenia jodu do diety człowieka.

Alternatywnym sposobem wprowadzenia jodu do diety człowieka i zwierząt hodowlanych może być biofortyfikacja roślin w jod [White, Broadley 2005, 2009, Yang i in. 2007, Zhao, McGrath 2009]. Jod nie jest pierwiastkiem niezbędnym dla roślin. Z tego powodu opracowanie agrotechnicznych zasad introdukcji jodu do roślin wymaga przeprowadzenia rzetelnych badań, dokumentujących w szerokim zakresie oddziaływanie tego pierwiastka na rośliny. W tym aspekcie ważna jest ocena oddziaływania jodu nie tylko na poziom plonowania, ale również na fizjologiczne i biochemiczne procesy zachodzące w roślinach odpowiadające między innymi za kształtowanie jakości biologicznej plonu.

Wiele z dotychczasowych badań dotyczących biofortyfikacji w jod zasadniczo dokumentuje optymalizację sposobów wzbogacania roślin w ten pierwiastek [Altinok i in. 2003; Bai i in. 2007; Blasco i in. 2008; Gonda i in. 2007; Hong i in. 2009; Weng i in. 2008; Zhu i in. 2003]. Pomijane są w nich jednak aspekty ubocznego oddziaływania jodu na rośliny. Badania przedstawione w niniejszej pracy istotnie przyczyniły się do uzupełnienia tej luki informacyjnej.

Celem badań było określenie wpływu nawożenia jodem (w formie KI i KIO<sub>3</sub>) poprzez pożywkę na plonowanie oraz jakość biologiczną owoców pomidora uprawianego w systemie hydroponicznym cienkwarstwowych kultur przepływowych (CKP).

## 2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Rośliny pomidora (*Lycopersicon esculentum* Mill.) odmiany 'Rambozo F<sub>1</sub>' uprawiano w szklarni w systemie hydroponicznym CKP z recyrkulacją pożywki. Badania przeprowadzone w 2010 r. w szklarni Wydziału Ogrodniczego UR w Krakowie obejmowały następujące kombinacje:

- 1) kontrola – standardowa pożywka bez jodu;
- 2) pożywka standardowa wzbogacona w jod w stężeniu 1 mg l·dm<sup>-3</sup> w formie KI;
- 3) pożywka standardowa wzbogacona w jod w stężeniu 1 mg l·dm<sup>-3</sup> w formie KIO<sub>3</sub>.

Jod do pożywki wprowadzono przez cały okres uprawy, począwszy od fazy pojawienia się zalążków kwiatów w pierwszym gronie. Pożywkę standardową (zawartość makro- i mikrośladników pokarmowych) dostosowaną do wymogów pomidora w poszczególnych fazach wzrostu [Wysocka-Owczarek 2001] przygotowano z nawozów mineralnych.

Doświadczenie wegetacyjne prowadzone było w czterech powtórzeniach – jedno powtórzenie obejmowało 15 roślin pomidora. Rośliny były prowadzone do szóstego grona, po czym zostały ogłowione. Pomiary biometryczne wielkości plonu wykonywano systematycznie w miarę dojrzewania owoców w poszczególnych gronach, z podziałem na klasę ekstra oraz pierwszy i drugi wybór według normy Unii Europejskiej [Rozporządzenie Komisji EWG nr 778/83... 1983].

W dojrzałych owocach z trzeciego grona oznaczono:

- 1) suchą masę metodą suszarkową w 105°C;
- 2) kwasowość ogólną metodą miareczkową w przeliczeniu na kwas cytrynowy [Krełowska-Kułas 1993];
- 3) ikopen i β-karoten [Nagata, Yamashita 1992];
- 4) kwas askorbinowy (witaminę C) metodą miareczkową [Samotus i in. 1982];
- 5) ekstrakt metodą refraktometryczną przy użyciu refraktometru cyfrowego Atago Paletce PR-32α;
- 6) sumę cukrów rozpuszczalnych metoda atronową [Yemm, Willis 1954];

oraz

- 7) związki fenolowe, fenylopropanoidy, flawonole i antocyjany na podstawie widma absorpcyjnego [Fakumoto, Mazza 2000].

Do analizy glukozy i fruktozy zastosowano technikę wysokosprawnej chromatografii cieczowej HPLC w odwróconej fazie (z ang. Reversed-Phase Hight-Performance Liquid Chromatography, RP-HPLC). Zawartość glukozy i fruktozy wyznaczono w temperaturze pokojowej na układzie chromatograficznym firmy Knauer (Niemcy). Próbkę, w ilości 10 μl, była nastrzykiwana na kolumnę aminową z prekolumną (kolumna typu LiChrospher RP 100-10 NH<sub>2</sub>, 250 x 4 mm). Eluentem była mieszanina acetonitryl/woda sporządzona w stosunku objętościowym 87:13. Prędkość przepływu fazy ruchomej ustalona została na 1,3 ml/min. Detekcja odbyła się za pomocą detektora refraktometrycznego RI (typu Smartline 2300).

Obliczenia statystyczne uzyskanych wyników wykonywano stosując moduł ANOVA programie STATISTICA 9.0 PL dla  $P < 0,05$ . Istotność różnic między obiektami oceniono za pomocą testu Duncana.

### 3. WYNIKI I DYSKUSJA

Wzbogacenie pożywek w jod w formie jodku i jodanu nie miało istotnego wpływu na wielkość i strukturę całkowitego plonu owoców pomidora (należących do klasy ekstra oraz pierwszego i drugiego wyboru), zebranych ze wszystkich sześciu gron (tab. 1).

Stwierdzono istotny wpływ zastosowanego nawożenia roślin jodem na kwasowość ogólną oraz na zawartość likopenu, kwasu askorbinowego, ekstraktu, sumy cukrów rozpuszczalnych, glukozy i fruktozy w analizowanych dojrzałych owocach pomidora z trzeciego grona (tab. 2). Nie stwierdzono istotnego wpływu aplikacji jodu, zarówno w formie KI, jak i formie  $KIO_3$ , na zawartość suchej masy,  $\beta$ -karotenu, związków fenolowych, fenylopropanoidów, flawonoli i antocyjanów w owocach pomidora.

**Tabela 1.** Wpływ nawożenia jodem na wielkość i strukturę plonu owoców pomidora

**Table 1.** Effect of iodine fertilization on yield of tomato fruits

Obiekt	Plon owoców (kg·m <sup>-2</sup> )		
	ekstra wybór	pierwszy wybór	drugi wybór
Kontrola	10,3	0,10	0,29
KI	10,7	0,06	0,50
$KIO_3$	8,8	0,08	0,62
Test <i>F</i>	n.i.	n.i.	n.i.

**Objaśnienia:** n.i. – brak istotnego zróżnicowania między obiektami.

W porównaniu z kontrolą zastosowanie jodu w obydwu formach powodowało istotne zmniejszenie zawartości likopenu oraz zwiększenie zawartości kwasu askorbinowego w owocach pomidora zebranych z trzeciego grona. Warto nadmienić, że korzystniej na jakość biologiczną owoców pomidora wpłynęła forma  $KIO_3$  przez zwiększenie kwasowości ogólnej oraz zawartości ekstraktu i sumy cukrów rozpuszczalnych (w tym glukozy i fruktozy) zarówno w porównaniu do kontroli, jak i nawożenia roślin KI. Należy pokreślić, że w odniesieniu do kontroli nawożenie roślin jodkiem potasu powodowało istotne zmniejszenie zawartości ekstraktu oraz cukrów rozpuszczalnych w owocach pomidora (tab. 2).

Próba wzbogacania roślin w jod przez nawożenie tym pierwiastkiem w wysokich dawkach niesie ze sobą ryzyko uszkodzenia roślin w wyniku toksycznego działania jodu. Nadmierne dawki jodu powodują zmniejszenie biomasy i chlorozy liści, a przy przekroczeniu toksycznych stężeń – nekrozy liści lub zamieranie całych roślin [Hong i in. 2009; Mackowiak, Grossl 1999; Mackowiak i in. 2005; Smith, Middleton 1982]. Zasadniczo forma joda-

nowa ( $\text{IO}_3^-$ ) jest mniej szkodliwa (toksyczna) dla roślin niż forma jodkowa ( $\text{I}^-$ ) [Gonda i in. 2007; Mackowiak, Grossl 1999; Zhu i in. 2003]. Na ogół rośliny nawożone doglebowo jodem w formie  $\text{I}^-$  pobierają więcej tego pierwiastka w stosunku do roślin traktowanych  $\text{IO}_3^-$ . Takie zależności stwierdzono w badaniach wielu autorów [Borst-Pauwels 1961; Gonda i in. 2007; Mackowiak, Grossl 1999; Smith i in. 1999; Zhu i in. 2003].

**Tabela 2.** Wpływ nawożenia jodem na zawartość suchej masy i skład chemiczny owoców pomidora

**Table 2.** Effect of iodine fertilization on dry matter content and chemical composition of tomato fruits

Obiekt	% s.m.	Kwasowość ogólna (kwas cytrynowy)		Likopen	B-karoten	Kwas askorbino- wy	Ekstrakt (% Brix)
		mg·100 g <sup>-1</sup>					
Kontrola	5,21	416,6 a		5,85 b	1,36	24,0 a	4,52 b
KI	4,87	401,8 a		5,08 a	1,33	26,8 b	4,17 a
KIO <sub>3</sub>	5,53	461,3 b		5,01 a	1,02	26,2 b	4,92 c
Test F	n.i.	*		*	n.i.	*	*
	Suma cukrów rozpuszczalnych	glukoza	fruktoza	związki fenolowe	fenylopropanoidy	flawonole	antocyjany
		mg·100 g <sup>-1</sup>					
Kontrola	2469,9 b	1064,0 a	1067,3 a	29,0	3,7	1,4	0,1
KI	2183,8 a	1093,9 a	1017,0 a	32,1	4,1	1,9	0,3
KIO <sub>3</sub>	2654,3 c	1346,3 b	1202,1 b	34,8	4,9	2,7	0,4
Test F	*	*	*	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

**Uwaga:** średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie dla  $P < 0,05$ ; \* – średnie różnią się istotnie, n.i. – brak istotnego zróżnicowania.

W pionierskich badaniach Hageman i in. [1942] wykazali istotne oddziaływanie nawożenia roślin jodem (w formie KI) na wzrost roślin, plonowanie i zawartość kwasu askorbinoowego w owocach pomidora. W tych badaniach wraz ze zwiększeniem dawki jodu (0, 4, 16, 36, 64 i 100 mg l·kg<sup>-1</sup> gleby), aplikowanego doglebowo, stwierdzono zmniejszenie wielkości plonu owoców oraz zamieranie roślin pomidora. Dawki jodu powyżej 4 mg l·kg<sup>-1</sup> gleby powodowały uszkodzenia roślin pomidora, a powyżej 16 mg l·kg<sup>-1</sup> gleby były letalne dla roślin pomidora. Zastosowane nawożenie jodem powodowało zarówno w roślinach, jak i w owocach pomidora zmniejszenie zawartości kwasu askorbinoowego. Uzyskanie w naszych badaniach wyników wskazujących na brak wpływu jodu na wielość plonu przy jednoczesnym zwiększeniu zawartości kwasu askorbinoowego w owocach może być spowodowane uprawą innej odmiany pomidora w systemie hydroponicznym, jak również aplikacją mniejszych dawek jodu.

Przedstawione wyniki analiz chemicznych wskazują, że korzystniej na jakość biologiczną owoców pomidora oddziaływała utleniona forma jodu ( $\text{IO}_3^-$ ), zwłaszcza w zakresie kwasowości oraz zawartość ekstraktu i cukrów rozpuszczalnych – w tym glukozy i fruktozy. Forma zredukowana ( $\text{I}^-$ ) miała stosunkowo niewielki negatywny wpływ na jakość owoców pomidora pod względem zawartości ekstraktu oraz cukrów rozpuszczalnych. Należy jednak wspomnieć, że owoce roślin pomidora nawożonego KI zawierały więcej jodu niż traktowane  $\text{KIO}_3$  – wyniki przedstawiono w odrębnej publikacji [Smoleń i in. 2011].

Efekt nawożenia jodem na skład chemiczny i wartość biologiczną roślin jest stosunkowo słabo rozpoznany. Wyniki nielicznych badań przeprowadzonych na warzywach liściowych (sałacie) wykazują, że jod w zależności od aplikowanej formy i stężenia tego pierwiastka może wpływać na aktywność antyoksydacyjną [Blasco i in. 2008, 2010 b], fotorespirację i metabolizm azotu [Blasco i in. 2010 a] w roślinach. Poza wspomnianymi wynikami badań Hageman'a i innych [1942], w dostępnej literaturze brak jest informacji na temat oddziaływania jodu na plonowanie i skład chemiczny owoców pomidora. Z tego powodu skonfrontowanie wyników badań własnych z rezultatami badań innych autorów jest utrudnione. Stosunkowo wąski jest również zakres wiedzy na temat przemian jodu i jego implikacji z procesami metabolicznymi zachodzącymi w roślinach. Dlatego też trudno przeprowadzić rzeczową interpretację wyników badań opierając się na biochemicznych, fizjologicznych czy molekularnych aspektach działania jodu na rośliny.

#### 4. WNIOSKI

1. W porównaniu z kontrolą zastosowanie jodu zarówno w formie KI, jak i formie  $\text{KIO}_3$ , powodowało istotne zmniejszenie zawartości likopenu oraz zwiększenie zawartości kwasu askorbinowego w owocach pomidora.
2. Korzystniej na jakość biologiczną owoców pomidora wpłynęło zastosowanie jodu w formie  $\text{KIO}_3$  zwiększając w owocach pomidora kwasowość ogólną oraz zawartość ekstraktu i sumy cukrów rozpuszczalnych (w tym glukozy i fruktozy), zarówno w porównaniu do kontroli, jak i nawożenia roślin KI.
3. W porównaniu do kontroli nawożenie roślin jodkiem potasu powodowało istotne zmniejszenie zawartości ekstraktu oraz cukrów rozpuszczalnych w owocach pomidora.
4. Nawożenie roślin jodem nie miało istotnego wpływu na łączną wielkość plonu owoców pomidora ze wszystkich sześciu gron oraz na zawartość w owocach pomidora suchej masy,  $\beta$ -karotenu, związków fenolowych, fenylopropanoidów, flawonoli i antocyjanów.

***Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w roku 2010 jako projekt badawczy nr N N310 080238 – grant MNiSW pt. „Efektywność biofortyfikacji pomidora w jod w uprawie hydroponicznej z recykulacją pożywki”.***

## PIŚMIENNICTWO

- ALTINOK S., SOZUDOGRU-OK S., HALILOVA H. 2003. Effect of iodine treatments on forage yields of alfalfa. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 34 (1–2): 55–64.
- BAI G., NAKAHARA T., MURASE H., UENO D., AKAO S., SOMEYA T., INOUE K. 2007. Marking by introducing iodine into lettuce grown in hydroponics to certify the provenance. *J. Sci. High Techno. Agricul.* 19 (3): 137–140.
- BLASCO B., RIOS J.J., CERVILLA L.M., SANCHEZ-RODRIGUEZ E., RUIZ J.M., ROMERO L. 2008. Iodine biofortification and antioxidant capacity of lettuce: potential benefits for cultivation and human health. *Ann. Appl. Biol.* 152: 289–299.
- BLASCO B., RIOS J.J., CERVILLA L.M., SANCHEZ-RODRIGUEZ E., RUBIO-WILHELMI M.M., ROSALES M.A., RUIZ J.M., ROMERO L. 2010a. Photorespiration process and nitrogen metabolism in lettuce plants (*Lactuca sativa* L.): induced changes in response to iodine biofortification. *J. Plant Growth Reg.* 29 (4): 477–486.
- BLASCO B., RÍOS J.J., LEYVA R., CERVILLA L.M., SANCHEZ-RODRIGUEZ E., RUBIO-WILHELMI M.M., ROSALES M.A., RUIZ J.M., ROMERO L. 2010b. Does iodine biofortification affect oxidative metabolism in lettuce plants? *Biol Trace Elem Res.* DOI 10.1007/s12011-010-8816-9.
- BORST-PAUWELS G.W.F.H. 1961. Iodine as a micronutrient for plants. *Plant Soil* 14 (4): 377–392.
- FAKUMOTO L., MAZZA G. 2000. Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. *J. Agric. Food Chem.* 48 (8): 3597–3604.
- GONDA K., YAMAGUCHI H., MARUO T., SHINOHARA Y. 2007. Effects of iodine on growth and iodine absorption of hydroponically grown tomato and spinach. *Hort. Res. Japan* 6 (2): 223–227.
- HAGEMAN R.H., HODGE E.S., MCHARGUE J.S. 1942. Effect of potassium iodide on the ascorbic acid content and growth of tomato plants. *Plant Physiol.* 17 (3): 465–72.
- HONG C.-L., WENG H.-Z., YAN A.-L., ISLAM A.-U. 2009. The fate of exogenous iodine in pot soil cultivated with vegetables. *Environ. Geochem. Health* 31 (1): 99–108.
- KREŁOWSKA-KUŁAS M. 1993. *Badanie jakości produktów spożywczych.* Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- LIN N.-F., TANG J., BIAN J.-M. 2004. Geochemical environment and health problems in China. *Environ. Geochem. Health* 26 (1): 81–88.
- MACKOWIAK C.L., GROSSL P.R., 1999. Iodate and iodine effects on iodine uptake and partitioning in rice (*Oryza sativa* L.) grown in solution culture. *Plant and Soil* 212: 135–143.
- MACKOWIAK C.L., GROSSL P.R., COOK K.L. 2005. Iodine toxicity in a plant-solution system with and without humic acid. *Plant and Soil* 269: 141–150.
- NAGATA M., YAMASHITA I. 1992. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *J. Japa. Soc. Ford. Sci. Techno.* 39 (10): 925–928.

- ROZPORZĄDZENIE KOMISJI EWG nr 778/83 z dnia 30 marca 1983 r. określające normy jakościowe dla pomidorów. Dz. U. EWG nr 86 z 31.03.1983. [W:] Unia Europejska - Normy jakościowe na owoce i warzywa. Włoski Instytut Handlu Zagranicznego ICE, Centralny Inspektorat Standaryzacji CIS, Warszawa: 101–110.
- SAMOTUS B., LEJA M., ŚCIGALSKI A. 1982. Porównanie czterech metod oznaczania kwasu askorbinowego w owocach i warzywach. *Acta Agr. Silv. Ser. Agr.* 21: 105–122.
- SMITH G.S., MIDDLETON K.R. 1982. Effect of sodium iodide on growth and chemical composition of lucerne and ryegrass. *Fert. Res.* 3: 25–36.
- SMITH L.C., MORTON J.D., CATTO W.D. 1999. The effects of fertiliser iodine application on herbage iodine concentration and animal blood levels. *New Zealand J. Agric. Res.* 42: 433–440.
- SMOLEŃ S., SADY W., WIERZBIŃSKA J. 2011. Wpływ nawożenia KI i KIO<sub>3</sub> na efektywność pobierania jodu oraz zawartość składników mineralnych w liściach i owocach roślin pomidora uprawianych w systemie hydroponicznym CKP. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 48, IOŚ, Warszawa.
- WENG H.-X., HONG C.-L., YAN A.-L., PAN L.-H., QIN Y.-C., BAO L.-T., XIE L.-LI. 2008. Mechanism of iodine uptake by cabbage: Effects of iodine species and where it is stored. *Biol. Trace Elem. Res.* 125 (1): 59–71.
- WHITE P.J., BROADLEY M.R. 2005. Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends Plant Sci.* 10 (12): 586–593.
- WHITE P.J., BROADLEY M.R. 2009. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytol.* 182 (1): 49–84.
- WYSOCKA-OWCZAREK M. 2001. Pomidory pod osłonami - Uprawa tradycyjna i nowoczesna. Wydanie III, Hortpress, Warszawa.
- YANG X.-E., CHEN W.-R., FENG Y. 2007. Improving human micronutrient nutrition through biofortification in the soil-plant system: China as a case study. *Environ. Geochem. Health* 29 (5): 413–428.
- YEMM E.W., WILLIS A.J. 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochem. J.* 57: 508–514.
- ZHAO F.-J., McGRATH S.P. 2009. Biofortification and phytoremediation. *Curr. Opin. Plant Biol.* 12: 373–380.
- ZHU Y.-G., HUANG Y.-Z., HU Y., LIU Y.-X. 2003. Iodine uptake by spinach (*Spinacia oleracea* L.) plants grown in solution culture: effects of iodine species and solution concentrations. *Environ Int.* 29: 33–37.