

Sylwester Smoleń*, Anna Kołton, Joanna Wierzbińska*,
Alina Wiszniewska****

**WPŁYW NAWOŻENIA KI I KIO_3 NA WZROST WEGETATYWNY
ROŚLIN ORAZ METABOLIZM AZOTU I AKTYWNOŚĆ
FOTOSYNTETYCZNA LIŚCI POMIDORA UPRAWIANYCH
W SYSTEMIE HYDROPONICZNYM CKP**

**THE EFFECT OF KI AND KIO_3 FERTILIZATION ON VEGETATIVE
GROWTH AS WELL AS NITROGEN METABOLISM AND
PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY IN LEAVES OF TOMATO GROWN IN
HYDROPONICS (NFT SYSTEM)**

Słowa kluczowe: jod, LAI, pomidor, azotany, azot, fotosynteza.

Key words: iodine, LAI, tomato, nitrate, nitrogen, photosynthesis.

Iodine is not an essential mineral nutrient for plants. The goal of the work was to evaluate the influence of iodine applied in the form of I and IO_3^- on vegetative growth as well as nitrogen metabolism and photosynthetic activity of plants. Cultivation of tomato cv. 'Rambozo F₁' was conducted in 2010 using nutrient film technique (NFT system) located in a greenhouse. The following combinations were distinguished within the study:

- 1) control;
- 2) 1 mg I-dm⁻³ in solution applied as KI;
- 3) 1 mg I-dm⁻³ in solution applied as KIO_3 .

A slightly negative effect of IO_3^- was noted on plant height and average area per leaf. Application of iodine (irrespective of its chemical form) reduced the total chlorophyll content in the oldest (the lowest) leaves – it did not however affect the efficiency of photosynthesis

* Dr inż. Sylwester Smoleń, mgr inż. Joanna Wierzbińska – 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 inż. Anna Kołton, dr inż. Alina Wiszniewska – Katedra Botaniki i Fizjologii Roślin, Wydział Ogrodniczy, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Al. 29 Listopada 54, 31-425 Kraków; tel.: 12 662 52 11; e-mail: a.kolton@ogr.ur.krakow.pl

and chlorophyll a fluorescence (characterized by Fv/Fm, PI and Tfm parameters). Both iodine forms (I^- and IO_3^-) comparably increased the transpiration rate in these leaves. Introduction of iodine into the nutrient solution (as I^- and IO_3^-) had no influence on the content of photosynthetic pigments as well as the efficiency of photosynthesis and transpiration rate in the youngest leaves (located above 6th cluster). An increase in parameters of chlorophyll a fluorescence (noted in Fv/Fm and PI values) was found in the youngest leaves of plants fertilized with IO_3^- . In comparison to the control, application of IO_3^- led to higher accumulation of nitrates(V) both in the youngest as well as the oldest leaves. Depending on leaf age, a diverse effect of I^- and IO_3^- was observed with reference to the following parameters of nitrogen metabolism: activity of nitrate (NR) and nitrite reductase (NiR) as well as the content of NO_3^- and total nitrogen.

1. WPROWADZENIE

Biofortyfikacja (wzbogacanie) warzyw w jod może być naturalnym uzupełnieniem, czy też w przyszłości zastąpieniem, obowiązującego modelu profilaktyki jodowej, polegającej na jodowaniu soli kuchennej. W wielu krajach nadmierne spożycie soli doprowadziło do wzrostu zachorowalności ludzi na choroby układu krążenia. Ze względu na wysokie koszty ich leczenia WHO zaplanowała na lata 2008–2013 realizację programu „Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health”. Program ten między innymi obejmuje zagadnienia związane z ograniczeniem spożycia soli kuchennej, przy jednoczesnym poszukiwaniu alternatywnych sposobów wprowadzania jodu do diety człowieka.

Jod nie jest uznawany za mikrośladnik pokarmowy roślin. Dlatego wdrożenie agrotechnicznych zasad biofortyfikacji roślin w ten pierwiastek wymaga przeprowadzenia kompleksowych badań uwzględniających oddziaływanie jodu na wzrost, rozwój oraz procesy fizjologiczne i biochemiczne zachodzące w roślinach.

Istnieją merytoryczne przesłanki wskazujące, że jod może oddziaływać na metabolizm azotu w mikroorganizmach. Dotyczą one udziału reduktazy azotanowej (NR – redukującej NO_3^- do NO_2^-) w redukcji IO_3^- do I^- w ekstraktach pozyskanych z *Escherichia coli* [Tsugonai i Sase 1969]. Wyniki badań Wong i Hung [2001] oraz Hung i in. [2005], przeprowadzonych na glonach morskich i ekstraktach z nich pozyskanych, wskazują na zaangażowanie NR w redukcji jonów jodanowych do jodkowych. Stwierdzono, że rośliny wyższe mają zdolność do redukcji IO_3^- do I^- , ale mechanizm tego procesu nie jest do końca poznany [Sekimoto 2009]. Analiza wyników badań różnych autorów dotyczących oddziaływania jodu na metabolizm azotu w roślinach wyższych dostarcza jednak rozbieżnych informacji na temat wpływu IO_3^- na zawartość azotanów(V) i aktywność NR w roślinach [Blasco i in. 2010a; Gonda i in. 2007; Ledwożyw i in. 2009]. W roślinach istnieje ścisły związek metabolizmu azotu z procesem fotosyntezy. Toteż istotne jest rozpoznanie, czy i w jakim stopniu egzogenny jod wpływa na aktywność fotosyntetyczną roślin.

Celem badań było określenie wpływu nawożenia jodem (w formie KI i KIO_3) poprzez pożywkę na efektywność pobierania tego pierwiastka oraz na zawartość składników pokarmowych w liściach i owocach roślin pomidora uprawianych w systemie hydroponicznym cienkodarstwowych kultur przepływowych (CKP).

2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Rośliny pomidora (*Lycopersicon esculentum* Mill.) odmiany 'Rambozo F₁' uprawiano w szklarni w systemie hydroponicznym CKP, z recykulacją pożywki. Badania przeprowadzone w roku 2010, w szklarni Wydziału Ogrodniczego Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie obejmowały następujące kombinacje:

- 1) kontrola – standardowa pożywka bez jodu;
- 2) pożywka standardowa wzbogacona w jod w stężeniu 1 mg l-dm^{-3} w formie KI;
- 3) pożywka standardowa wzbogacona w jod w stężeniu 1 mg l-dm^{-3} w formie KIO_3 .

Jod do pożywki wprowadzano przez cały okres uprawy, począwszy od fazy pojawienia się zalążków kwiatów w pierwszym gronie. Pożywkę standardową (zawartość makro- i mikroskładników pokarmowych), dostosowaną do wymogów pomidora w poszczególnych fazach wzrostu [Wysocka-Owczarek 2001], przygotowano używając nawozów mineralnych. Doświadczenie prowadzone było w czterech powtórzeniach, z czego jedno powtórzenie stanowiło 15 roślin pomidora. Rośliny były prowadzone do szóstego grona, po czym zostały ogłowione.

Podczas uprawy wykonywano następujące pomiary biometryczne:

- 1) wysokość roślin przed ogłowieniem – pomiary te wykonano 25.05.2010 r. na wszystkich piętnastu roślinach w każdym powtórzeniu,
- 2) pomiary liczby oraz powierzchni wszystkich liści na pięciu losowo wybranych roślinach z każdego badanego obiektu – 14.06.2010 r.

Na podstawie wyników pomiarów biometrycznych obliczono współczynnik LAI (Leaf Area Index – Indeks Powierzchni Liści), tj. całkowitą powierzchnię asymilacyjną jednej rośliny (powierzchnia wszystkich liści na roślinie): powierzchnię zajmowaną przez jedną roślinę. Rośliny ogłowiono nad drugim wykształconym liściem nad szóstym gronem w dniu 02.06.2010 r.

Na przełomie maja i czerwca (31.05–01.06.2010r.) wykonano pomiary aktywności fotosyntetycznej i fluorescencji chlorofilu a (oznaczono parametry Fv/Fm, PI i Tfm) oraz analizy chemiczne liści pierzastych:

- 1) z pierwszego najbardziej wykształconego liścia nad szóstym gronem to jest w ogławianej części górnej (liść górny nad szóstym gronem),
- 2) z najniższego, najstarszego liścia na roślinach – pod pierwszym gronem (liść dolny).

Pomiar aktywności fotosyntetycznej wykonano za pomocą przenośnego analizatora wymiany gazowej LCI Portable Photosynthetic System firmy ADC BioScientific Ltd.

Pomiar fluorescencji chlorofilu a w liściach wykonano fluorymetrem Handy Pea firmy Hansatech Instruments. W liściach dolnych i górnych wykonano analizy chemiczne zawartości: azotanów(V) i jonów amonowych techniką FIA [PN-EN ISO 11732:2001, PN-EN ISO 13395:2001], po ekstrakcji prób 2% kwasem octowym [Nowosielski 1988], azotu (N-ogółem) metodą Kiejdahla [Persson i Wennerholm 1999], barwników asymilacyjnych – chlorofilu a, chlorofilu b i karotenoidów po ekstrakcji 80% acetonem [Lichtenthaler, Wellburn 1983]. Aktywność reduktazy azotanowej (NR) oraz reduktazy azotynowej (NiR) oznaczono metodą *in vitro* [Buczek 1984].

Obliczenia statystyczne uzyskanych wyników wykonywano przy użyciu modułu ANOVA programu STATISTICA 9.0 PL dla $P < 0,05$. Istotność różnic między obiektami oceniono za pomocą testu Duncana.

3. WYNIKI I DYSKUSJA

Aplikacja jodu poprzez pożywkę w formie jodanowej (IO_3^-) spowodowała obniżenie wysokości roślin oraz średniej powierzchni liści roślin pomidora w stosunkowo niewielkim stopniu (tab. 1). Należy jednak zaznaczyć, że wprowadzenie jodu do pożywki zarówno w formie KI jak i KIO_3 nie miało istotnego wpływu zarówno na liczbę liści na roślinie, jak i na indeks powierzchni liści (LAI). Można przypuszczać, że potencjalna produktywność asymilacyjna roślin pomidora podczas uprawy (wynikająca z całkowitej powierzchni asymilacyjnej) wskutek traktowania jodem w formie jodkowej i jodanowej mogła być zbliżona do roślin kontrolnych.

Sformułowanie powyższej hipotezy wydaje się być uzasadnione na podstawie wyników przeprowadzonych pomiarów aktywności fotosyntetycznej, fluorescencji chlorofilu a oraz zawartości barwników asymilacyjnych w liściach najmłodszych (górnych) i najstarszych, (dolnych) najniżej położonych na roślinach (tab. 2 i 3). Zawartość barwników asymilacyjnych oraz intensywność procesu fotosyntezy i transpiracji wody w liściach górnych roślin traktowanych I⁻ i IO_3^- były na podobnym poziomie jak w roślinach kontrolnych. Należy jednak zaznaczyć, iż w liściach najmłodszych roślin nawożonych IO_3^- odnotowano podwyższenie poziomu parametrów fluorescencji chlorofilu a –Fv/Fm i PI. Wzrost tych parametrów pośrednio wskazuje na lepszą witalność aparatu fotosyntetycznego górnych (najmłodszych części) roślin traktowanych IO_3^- . W tym aspekcie interesujące są wyniki pomiarów przeprowadzonych na liściach najstarszych – najniżej położonych, a przez to zacienionych. Jod zastosowany w obydwu formach powodował zmniejszenie zawartości sumy chlorofilu a i b – aplikacja KI powodowała przy tym zmniejszenie zawartości karotenoidów w liściach (tab. 3). Jednak nie miało to negatywnego wpływu na wydajność procesu fotosyntezy i poziom fluorescencji chlorofilu a (parametry Fv/Fm, PI i Tfm). W porównaniu z kontrolą obie formy jodu (I⁻ i IO_3^-) w równym stopniu wpłynęły na zwiększenie poziomu transpiracji wody w tych liściach.

Warto nadmienić, że zawartość barwników asymilacyjnych w liściach najstarszych (najniżej położonych) była niższa niż liściach najmłodszych położonych nad szóstym gronem. Zmierzone wartości poziomu fluorescencji chlorofilu a (w liściach górnych i dolnych) mieszczą się w granicach obserwowanych przez innych autorów [He i in. 2009]. Wyniki badań wskazują zatem, że aplikacja jodu w formie I⁻ i IO₃⁻ (w zastosowanych stężeniach) nie miała negatywnego wpływu na potencjał asymilacyjny roślin, a przez to również na produktywność fotosyntetyczną roślin.

Tabela 1. Wyniki pomiarów biometrycznych roślin pomidora

Table 1. Results of the biometric measurements of tomato plants

Objekt	Wysokość roślin, m	Liczba liści na roślinie	Średnia powierzchnia jednego liścia, cm ²	Współczynnik LAI
kontrola	2,50 b	29,1	1052,1 b	11,62
KI	2,52 b	30,3	1061,6 b	13,01
KIO ₃	2,28 a	29,6	913,9 a	11,40
test F	*	n.i.	*	n.i.

Objaśnienia:

Wartości średnie oznaczone tymi samymi literami (a lub b) nie różnią się istotnie dla $P < 0,05$. Test F: * – średnie różnią się istotnie, n.i. – brak istotnego zróżnicowania.

W zależności od wieku (położenia, stadium rozwojowego) liści stwierdzono zróżnicowany wpływ KI i KIO₃ na zawartość azotanów(V) i N-ogółem oraz na aktywność NR – nie stwierdzono jednak istotnego wpływu jodku i jodanu potasu na zawartość jonów amonowych w liściach dolnych i górnych (tab. 3). Na ogół w liściach rozwijających się w porównaniu do liści najstarszych (z zapoczątkowanymi procesami starzenia) procesy metaboliczne zachodzą ze znacznie większą intensywnością [González-Real i in. 2008]. Tym też można tłumaczyć fakt, że w naszych badaniach w liściach najmłodszych stwierdzono wyższy poziom aktywności reduktazy azotanowej (NR) oraz niższą zawartość NO₃⁻ niż w liściach najstarszych.

Synteza i regulacja aktywności tego enzymu podlega złożonym mechanizmom. Uzależniona jest między innymi od potencjału asymilacyjnego, obecności substratu oraz produktów jego działania – zredukowanych form azotu oraz zawartości aminokwasów [Campbell 1999]. Niższy poziom zawartości N-ogółem w liściach dolnych (najstarszych) niż liściach najmłodszych najprawdopodobniej mógł być spowodowany reutilizacją tego składnika do wyżej położonych części roślin – młodych liści i rozwijających się owoców.

Tabela 2. Wpływ formy jodu na niektóre parametry wymiany gazowej i fluorescencję chlorofilu a w liściach

Table 2. Effect of iodine form on some parameters of gas exchange and chlorophyll a fluorescence in tomato leaves

Część rośliny	Obiekt	Intensywność transpiracji (mol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹)	Przewodność szparkowa (mol H ₂ O·m ⁻² ·s ⁻¹)	Intensywność fotosyntezy (μmol CO ₂ ·m ⁻² ·s ⁻¹)
Liść górny nad szóstym gronem**	kontrola	3,63	0,73	9,55
	KI	4,84	0,51	9,81
	KIO ₃	4,48	0,38	10,17
	test F	n.i.	n.i.	n.i.
Liść dolny***	kontrola	2,24 a	0,59	5,96
	KI	4,41 b	0,46	8,52
	KIO ₃	4,48 b	0,27	6,20
	test F	*	n.i.	n.i.
		Fv/Fm	PI	Tfm
Liść górny nad szóstym gronem**	kontrola	0,791 a	2,753 a	256,25
	KI	0,812 ab	3,992 ab	216,25
	KIO ₃	0,823 b	5,667 b	246,25
	test F	*	*	n.i.
Liść dolny***	kontrola	0,829	6,183	244,30
	KI	0,829	6,143	303,75
	KIO ₃	0,834	6,234	253,75
	test F	n.i.	n.i.	n.i.

Objaśnienia:

Opisy jak w tabeli 1.

**Liście pierzaste z pierwszego najbardziej wykształconego liścia nad szóstym gronem liścia – w ogławianej części górnej.

***Liście pierzaste z najniższego, najstarszego liścia na roślinach – pod pierwszym gronem.

Omawiając bezpośredni wpływ aplikowanych form jodu na metabolizm azotu w organach wegetatywnych pomidora należy zwrócić uwagę, że w porównaniu z kontrolą KI w liściach najmłodszych powodował zmniejszenie zawartości NO₃⁻ (tab. 3). Spadek zawartości tych jonów prawdopodobnie wynikał ze zwiększenia aktywności NR. Interesującym jest jednak, że przy traktowaniu roślin KIO₃ w liściach najmłodszych (górnym) w porównaniu z kontrolą stwierdzono istotne zwiększenie zarówno poziomu aktywności NR, jak i zawartości NO₃⁻. Interpretację tych zależności można oprzeć na przedstawionych we wstępie informacjach na temat zaangażowania reduktazy NR w redukcję IO₃⁻ do I⁻ [Hung i in. 2005, Sekimoto 2009, Tsugonai i Sase 1969, Wong, Hung 2001]. Z tego powodu tempo redukcji NO₃⁻ do NO₂⁻ przeprowadzanej przez ten enzym mogło być osłabione. Nie miało to jednak wpływu na stopień odżywienia tych liści w azot – zawartość N-ogółem. Obserwacje te wymagają jednak dalszych badań.

Tabela 3. Wpływ formy jodu na zawartość azotanów(V), jonów amonowych, N-ogółem, aktywność reduktazy azotanowej (NR) i azotynowej (NiR) oraz barwników fotosyntetycznych w liściach pomidora

Table 3. Effect of iodine form on nitrate(V), ammonium ions, N-total concentration, nitrate and nitrite reductase activity and content of photosynthetic pigments in tomato leaves

Część rośliny	Objekt	Zawartość		N-ogółem (N% s.m.)	NR	NiR	Zawartość			
		azotany(V) (NO ₃ ⁻)	jony amonowe (NH ₄ ⁺)				Chlorofil a	Chlorofil b	Chlorofil a+b	Karotenoidy
		mg·kg ⁻¹ św.m.					μmole NO ₂ ⁻ ·g ⁻¹ św.m.·h ⁻¹	mg·100 g ⁻¹ św.m.		
Liść górny nad szóstym gronem**	kontrola	1232,3 b	15,7	5,54	1,87 a	1,89	1,63	0,50	2,13	0,51
	KI	1041,8 a	22,1	5,65	2,18 b	1,49	1,72	0,59	2,31	0,51
	KIO ₃	1422,8 c	28,0	5,53	2,53 c	1,50	1,82	0,49	2,31	0,54
	test F	*	n.i.	n.i.	*	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
Liść dolny***	kontrola	4924,7 a	22,3	4,79 b	0,09 b	1,79 b	1,22 b	0,48	1,70 b	0,43 b
	KI	5440,8 b	18,2	4,69 a	0,12 c	2,14 c	1,05 a	0,45	1,50 a	0,39 a
	KIO ₃	5666,7 b	25,4	4,69 a	0,07 a	1,47 a	1,13 ab	0,46	1,59 a	0,42 b
	test F	*	n.i.	*	*	*	*	n.i.	*	*

Objaśnienia:

Test F – opisy jak w tabeli 1.

** – Opis jak w tabeli 2.

*** – Opis jak w tabeli 2.

a, b, c – jak w tabeli 1.

W liściach dolnych (najstarszych) stwierdzono zasadniczo kilkukrotnie większą zawartość azotanów(V) oraz niższy poziom aktywności enzymu NR niż w liściach górnych (najmłodszych). Mogło to mieć bezpośredni związek z położeniem tych liści – zacienieniem, a przez to stwierdzoną niższą wydajnością procesu fotosyntezy (tab. 2). Prawdopodobnie skutkowało to powstawaniem niedostatecznej ilości energii oraz asymilatów niezbędnych do redukcji NO₃⁻ do NH₄⁺ oraz inkorporacji tego kationu do związków organicznych w cyklu GS/GOGAT. Stwierdzono również w dolnych liściach mniejszą zawartość N-ogółem niż w liściach górnych. Mogło to mieć związek z reutilizacją tego składnika (przemieszczaniem się) do wyżej położonych (młodszych) części wegetatywnych oraz rozwijających się owoców w poszczególnych gronach. Należy zwrócić uwagę, że w liściach dolnych jod w formie KI i KIO₃ w zbliżonym stopniu spowodował zwiększenie zawartości NO₃⁻ oraz zmniejszenie zawartości N-ogółem. W porównaniu z kontrolą KI spowodował stosunkowo nieznaczny (lecz istotny statystycznie) wzrost, a KIO₃ obniżenie aktywności enzymów NR i NiR. Być może spadek zawartości N-ogółem w liściach dolnych w skutek zastosowania jodku i jodanu potasu mógł być związany z oddziaływaniem jodu w obydwu formach na przyspieszenie procesów starzenia się liści. Świadczyć o tym może niższa zawartość

chlorofilu a, sumy chlorofilu a+b oraz wyższy poziom intensywności transpiracji w tych liściach (tab. 2 i 3). Warto nadmienić, że w badaniach Gonda i in [2007] jod aplikowany w formie IO₃⁻ w porównaniu do I⁻ powodował zwiększenie zawartości azotanów(V) oraz Ca w pomidorze i szpinaku uprawianym w systemie hydroponicznym.

Pomimo postępu nauki, wiele aspektów oddziaływania jodu – różnych jego form – na procesy fizjologiczne i biochemiczne zachodzące w roślinach nie zostało rozpoznanych. Istotne luki informacyjne dotyczą między innymi funkcjonowania procesu fotosyntezy u roślin nawożonych tym pierwiastkiem. Z tego powodu wnikliwe przedyskutowanie uzyskanych wyników z rezultatami badań innych autorów jest utrudnione.

4. WNIOSKI

1. Stwierdzono nieznaczny ujemny wpływ IO₃⁻ na wysokość roślin i średnią powierzchnię liści.
2. Jod zastosowany w obydwu formach powodował zmniejszenie zawartości sumy chlorofilu a+b w najstarszych (najniżej położonych) liściach – jednak nie miało to negatywnego wpływu na wydajność procesu fotosyntezy i poziom fluorescencji chlorofilu a (parametry Fv/Fm, PI i Tfm).
3. W porównaniu do kontroli aplikacja IO₃⁻ zarówno w liściach najmłodszych jak i najstarszych powodowała zwiększenie zawartości azotanów(V).
4. W zależności od wieku liści stwierdzono zróżnicowany wpływ I⁻ i IO₃⁻ na oznaczane parametry metabolizmu azotu: aktywność reduktazy azotanowej (NR) i azotynowej (NiR) oraz na zawartość NO₃⁻ i N-ogółem.

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 I AKTY PRAWNE

- BLASCO B., RIOS J.J., CERVILLA L.M., SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ 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.
- BUCZEK J. 1984. The occurrence of nitrate reductase inactivating factor in extracts of *Spirodela polyrrhiza*. *Acta Soc. Bot. Pol.* 53: 411–417.
- CAMPBELL W.H. 1999. Nitrate reductase structure, function and regulation: Bridging the gap between biochemistry and physiology. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50: 277–303.

- 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.
- GONZÁLEZ-REAL M.M., BAILLE A., LIU H.Q. 2008. Influence of fruit load on dry matter and N-distribution in sweet pepper plants. *Scien. Horticult.* 117: 307–315.
- HE Y., ZHU Z., YANG J., NI X., ZHU B. 2009. Grafting increases the salt tolerance of tomato by improvement of photosynthesis and enhancement of antioxidant enzymes activity. *Environ. Experim. Bot.* 66: 270–278.
- HUNG C.-C., WONG G.T.F., DUNSTAN W.M. 2005. Iodate reduction activity in nitrate reductase extracts from marine phytoplankton. *Bull. Mar. Sci.* 76 (1): 61–72.
- LEDWOŻYW I., SMOLEŃ S., STRZETELSKI S. 2009. Wpływ sposobów biofortyfikacji jodem na wielkość oraz jakość plonu sałaty gruntowej - badania wstępne. Wielokierunkowość badań w rolnictwie i leśnictwie. Tom 2. Monografia. Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie: 457–463.
- LICHTENTHALER H.K., WELLBURN A.R. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem. Soc. Trans.* 11: 591–592.
- NOWOSIELSKI O. 1988. Zasady opracowywania zaleceń nawozowych w ogrodnictwie. PWRiL, Warszawa.
- PERSSON J.Å., WENNERHOLM M. 1999. Poradnik mineralizacji Kjeldahl'a – przegląd metody klasycznej z ulepszeniami dokonanymi przez firmę FOSS TECATOR. Labconsult, Warszawa.
- PN-EN ISO 11732:2001. Jakość wody – Oznaczenie azotu amonowego metodą analizy przepływowej (CFA i FIA) z detekcją spektrometryczną.**
- PN-EN ISO 13395:2001. Jakość wody – Oznaczenie azotu azotynowego i azotanowego oraz ich sumy metodą analizy przepływowej (CFA i FIA) z detekcją spektrofotometryczną.**
- SEKIMOTO H. 2009. Higher plants have the ability to reduce iodate to iodide. UC Davis: The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI. Retrieved from: <http://escholarship.org/uc/item/23r7j0kw>.
- TSUNOGAI S., SASE T. 1969. Formation of iodide-iodine in the ocean. *Deep-Sea Res.* 16: 489–496.
- WONG G.T.F., HUNG C.C. 2001. Speciation of dissolved iodine: integrating nitrate uptake over time in the oceans. *Continental Shelf Res.* 21: 113–128.
- WYSOCKA-OWCZAREK M. 2001. Pomidory pod osłonami – Uprawa tradycyjna i nowoczesna. Wydanie III. Hortpress, Warszawa.