

Sylwester Smoleń*, Iwona Ledwożyw, Piotr Strzetelski**,
Włodzimierz Sady*, Stanisław Rożek****

**WPLYW NAWOŻENIA JODEM I AZOTEM NA EFEKTYWNOŚĆ
BIOFORTYFIKACJI W JOD ORAZ NA JAKOŚĆ BIOLOGICZNĄ
MARCHWI**

**THE EFFECT OF IODINE AND NITROGEN FERTILIZATION ON
EFFICIENCY BIOFORTIFICATION IN IODINE AS WELL AS ON
BIOLOGICAL QUALITY OF CARROT**

Słowa kluczowe: jod, biofortyfikacja, nawożenie jodem, nawożenie azotem.

Key words: iodine, biofortification, iodine fertilization, nitrogen fertilization.

In 2008 carrot "Kazan F₁" was cultivated in a pot experiment on heavy soil with iodine application (in the concentration of 1 mg I-dm⁻³ of soil) in the form of KI and KIO₃. The experiment included variable nitrogen fertilization - control without N and combinations with N (in the concentration of 100 mg N-dm⁻³ of soil) supplied in the form of Ca(NO₃)₂ and (NH₄)₂SO₄. Iodine application in the form of KI and KIO₃ did not result in iodine biofortification of carrot storage roots and leaves – with exception of combinations: KIO₃ without N and Ca(NO₃)₂+KI. In combinations including N fertilization as well as in those without nitrogen, soil application of KIO₃ (in comparison to KI) resulted in higher content of N-total in storage roots but no such effect was shown in leaves. Depending on N-fertilization as well as form of this element, variable effects of iodine application as KI and KIO₃ on the content of: dry weight, extract, carotenoids, ascorbic acid, Ca, K, Mg, Na, P and S in storage roots were observed. Iodine and nitrogen fertilization had no significant influence on soluble sugars content in carrot storage roots.

* *Dr inż. Sylwester Smoleń, prof. dr hab. Włodzimierz Sady – 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: Sylwester.Smolen@interia.pl*

** *Mgr inż. Iwona Ledwożyw, dr Piotr Strzetelski, prof. dr hab. Stanisław Rożek – Katedra Fizjologii Roślin, Wydział Ogrodniczy, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Al. 29 Listopada 54, 31-425 Kraków; tel.: 12 662 52 10; e-mail: iwona_ledwozyw@gazeta.pl*

1. WPROWADZENIE

Zgodnie z zaleceniami Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) w Polsce oraz wielu innych krajach należy ograniczyć dzienne spożycie soli kuchennej (w Polsce w przybliżeniu o 50%), która w nadmiernych ilościach przyczynia się do zwiększonej częstotliwości występowania wielu chorób cywilizacyjnych, takich jak: schorzenia układu krążenia, w tym zawąży serca oraz niektóre choroby nowotworowe. Wdrożenie zaleceń WHO doprowadzi w perspektywie do znacznego pogorszenia podaży jodu w diecie, ponieważ program profilaktyki jodowej zarówno w Polsce, jak i w wielu innych krajach, opiera się głównie na jodowaniu soli kuchennej [Szybiński 2005, He, MacGregor 2008, Wilmowska-Pietruszyńska 2008]. Z tego powodu obecnie poszukuje się alternatywnych, a przy tym bardziej skutecznych na poziomie populacyjnym sposobów wprowadzania jodu do łańcucha pokarmowego, umożliwiających zarówno ograniczenie strat tego pierwiastka z żywności, jak i zwiększenie jego przyswajalności przez organizm ludzki [Weng i in. 2008]. Biofortyfikacja (wzbogacanie) roślin w jod jest postulowana jako jedna z alternatywnych metod wprowadzenia jodu do łańcucha pokarmowego [Strzetelski 2005].

Doglebowe nawożenie roślin jodem zaliczane jest do tak zwanych agrostrategii biofortyfikacji [White, Broadley 2009]. Skuteczność tego sposobu wzbogacania roślin w jod może być jednak ograniczona ze względu na: silną sorpcję tego składnika w glebie [Muramatsu i in. 1996], ulatnianie jodu z gleby do atmosfery w formie I_2 wskutek przemian powodowanych przez kwasy humusowe [Yamaguchi, inni 2005], czy też proces metylacji jodu, polegający na uwalnianiu tego pierwiastka z roślin do atmosfery w formie CH_3I [Saini i in. 1995].

Jod nie jest uznawany za składnik pokarmowy niezbędny dla roślin [Kabata, Mukherjee 2007], dlatego też konieczne jest rozpoznanie ubocznego oddziaływania doglebowego nawożenia tym pierwiastkiem, jak również łącznej aplikacji jodu ze składnikami pokarmowymi, na wielkość i jakość biologiczną plonu. Dotychczasowe badania z zakresu biofortyfikacji roślin w jod w bardzo ograniczonym stopniu wyjaśniają te zagadnienia.

2. CEL, MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Celem badań było określenie wpływu doglebowego nawożenia jodem w formie jodu (I^-) i jodanu (IO_3^-) na tle zróżnicowanego (pod względem dawki i formy) nawożenia azotem, na efektywność biofortyfikacji roślin marchwi w jod oraz jakość biologiczną korzeni spichrzowych.

Marchew „Kazan F₁” uprawiano w roku 2008 w pojemnikach ażurowych o wymiarach 60×40×20 cm, umieszczonych na terenie otwartym pod cieniówką. Pojemniki wypełniono glebą ciężką (pył ilasty o składzie granulometrycznym: 14% piasku, 45% pyłu, 41% iltu) o zawartości substancji organicznej 2,43%. Nasiona wysiano 25.04.2008 r.

Zawartość przyswajalnych form składników pokarmowych uzupełniono przed rozpoczęciem uprawy do poziomu: P–80 mg·dm⁻³ i K–170 mg·dm⁻³ gleby, stosując nawożenie KH₂PO₄ (w formie nawozu firmy Yara), opierając się na wynikach analizy chemicznych właściwości gleby. Nawożenia Mg i Ca nie wykonywano ze względu na to, że zawartość tych składników w glebie (Mg–107 mg·dm⁻³ i Ca–1026 mg·dm⁻³) pokrywała wymagania pokarmowe marchwi. Zawartość azotu mineralnego w glebie przed rozpoczęciem uprawy wynosiła: N-NH₄ 2,4 mg·dm⁻³ i N-NO₃ 8,5 mg·dm⁻³ gleby.

Badaniami objęto objekty z doglebowym przedsięwzięciem nawożeniem jodem (I) i azotem (N), zróżnicowanym w następujący sposób pod względem formy aplikowanych nawozów:

- kontrola bez nawożenia N i I,
- nawożenie I w formie KI bez nawożenia N,
- nawożenie I w formie KIO₃ bez nawożenia N,
- nawożenie N+I w formie Ca(NO₃)₂ i KI,
- nawożenie N+I w formie Ca(NO₃)₂ i KIO₃,
- nawożenie N+I w formie (NH₄)₂SO₄ i KI,
- nawożenie N+I w formie (NH₄)₂SO₄ i KIO₃.

Azot i jod aplikowano jednorazowo, przedsięwzięciem, w dawce 100 mg N·dm⁻³ gleby i 1 mg I·dm⁻³ gleby, tj. – w przeliczeniu 200 kg N i 2 kg I na hektar.

Aplikację I i N wykonano w formie:

- KI i KIO₃ – odczynników cz.d.a. (KI – POCh; KIO₃ – Sigma Aldrich),
- Ca(NO₃)₂ – nawozu firmy Yara,
- (NH₄)₂SO₄ – nawozu Z.A. Kędzierzyn.

Zbiór marchwi połączony z pobraniem prób gleby oraz liści i korzeni spichrzowych do analiz przeprowadzono 2.10.2008 r. W liściach i korzeniach spichrzowych marchwi oznaczono zawartość N-ogółem metodą Kiejdahla oraz jodu metodą ICP-OES, po inkubacji prób w 2% kwasie octowym [Smoleń, Strzetelski 2007]. W korzeniach spichrzowych marchwi oznaczono zawartości: suchej masy w 105°C, ekstraktu metodą refraktometryczną, cukrów rozpuszczalnych metodą antronową, karotenoidów po ekstrakcji mieszaniną aceton : n-heksan 4:6, kwasu askorbinowego metodą jodanową oraz Ca, K, Mg, Na, P i S techniką ICP-OES, po mikrofalowej mineralizacji prób w 65% HNO₃.

W próbach gleby pobranych po zbiorze marchwi oznaczono (w ekstraktach glebowych sporządzonych za pomocą 0,03M CH₃COOH) zawartość N-NH₄ i N-NO₃ techniką FIA oraz zawartość I, Ca, K, Mg, Na, P i S techniką ICP-OES.

Uzyskane wyniki weryfikowano statystycznie przy użyciu modułu ANOVA programu 'Statistica 8.0 PL' dla P < 0,05. Istotność różnic między obiektami była oceniana za pomocą testu Duncana.

3. WYNIKI I Dyskusja

Przy stosunkowo wyrównanej zawartości jodu oraz azotu mineralnego (N-NH₄ i N-NO₃) w glebie po uprawie marchwi stwierdzono istotne oddziaływanie zastosowanego nawożenia jodem i azotem na zawartość I i N w liściach oraz na zawartość N w korzeniach spichrzowych marchwi (tab. 1). Należy podkreślić, że na tle zróżnicowanego nawożenia azotem, formy związków jodu KI i KIO₃ aplikowanego doglebowo nie powodowały istotnych zmian zawartości N-ogółem w liściach marchwi. W korzeniach spichrzowych wykazano natomiast tendencję do zwiększenia zawartości N pod wpływem nawożenia KIO₃ w stosunku do KI, zarówno w obiektach nienawożonych azotem, jak i w obiektach z aplikacją Ca(NO₃)₂ i (NH₄)₂SO₄.

Analiza zawartości jodu w liściach wykazała bardzo interesujące zależności. Większą zawartość jodu w stosunku do kontroli stwierdzono tylko w liściach roślin nawożonych łącznie Ca(NO₃)₂+KI oraz w roślinach traktowanych KIO₃, lecz nienawożonych azotem. Warto zauważyć, że w obiektach nienawożonych azotem aplikacja dolistna KIO₃ powodowała istotne zwiększenie zawartości jodu w liściach, a nawożenie doglebowe KI zmniejszenie zawartości w porównaniu do kontroli. Aplikacja KIO₃ w roślinach nawożonych Ca(NO₃)₂ powodowała zmniejszenie zawartości jodu w liściach, a w przypadku roślin nawożonych (NH₄)₂SO₄ jej zwiększenie w porównaniu do aplikacji KI. W kontekście wyników tych oznaczeń niezwykle interesujące jest, że pomimo zastosowanego nawożenia jodem w korzeniach spichrzowych marchwi (zarówno nienawożonej, jak i nawożonej azotem) zawartość tego pierwiastka kształtowała się na poziomie zbliżonym do kontroli.

Spośród warzyw najbogatsze w jod są warzywa liściowe. Marchew jest zaliczana jednak do gatunków, które mogą gromadzić stosunkowo duże ilości tego pierwiastka [Strzetelski 2005]. W niniejszych badaniach potencjalną przyczyną niskiej skuteczności doglebowego nawożenia jodem na akumulację tego pierwiastka w marchwi mogła być silna sorpcja jodu w glebie z materią organiczną (grupami tiolowymi i polifenolami) oraz uwodnionymi tlenkami żelaza i glinu [Whitehead 1984, Muramatsu i in. 1996]. Pośrednio wskazuje na to wyrównana pomiędzy obiektami zawartość łatwo dostępnych form jodu w glebie, ekstrahowanych za pomocą 0,03 M kwasu octowego. Procesy sorpcji jodu w glebie wpływają na ograniczenie dostępności dla roślin przyswajalnych form tego pierwiastka, ponieważ zaabsorbowany jod w bardzo małym stopniu ulega procesowi desorpcji. Zachodzi on głównie przy obniżeniu potencjału oksydoredukcyjnego gleby do ujemnych wartości Eh, które zasadniczo w glebach uprawnych występują jedynie w warunkach beztlenowych powodowanych nadmiernym, długotrwałym ich uwilgotnieniem [Muramatsu i in. 1996]. W tym kontekście można również przypuszczać, że zastosowana w naszych badaniach dawka jodu mogła być zbyt niska, by w skuteczny sposób zwiększyć podaż dostępnego jodu dla roślin w glebie, a tym samym spowodować poprawę efektywności biofortyfikacji marchwi w ten pierwiastek.

Tabela 1. Zawartość azotu i jodu w liściach i korzeniach spichrzowych oraz w glebie po uprawie marchwi

Table 1. Nitrogen and iodine content in carrot leaves, storage roots and in soil after carrot cultivation

Objekt	Zawartość			
	w liściach		w korzeniach spichrzowych	
	azot (N % s.m.)	jod (mg l ⁻¹ kg s.m.)	azot (N % s.m.)	jod (mg l ⁻¹ kg s.m.)
1. Kontrola (bez N i I)	1,85 a	120,8 d	0,81 a	0,86 a
2. KI (bez N)	1,84 a	109,8 c	0,85 b	0,75 a
3. KIO ₃ (bez N)	1,80 a	132,4 e	0,90 c	0,74 a
4. Ca(NO ₃) ₂ +KI	1,82 a	158,5 f	1,21 d	0,72 a
5. Ca(NO ₃) ₂ +KIO ₃	2,09 ab	85,6 a	1,23 de	0,58 a
6. (NH ₄) ₂ SO ₄ +KI	2,52 c	83,4 a	1,24 e	0,85 a
7. (NH ₄) ₂ SO ₄ +KIO ₃	2,32 bc	91,6 b	1,34 f	0,73 a
	w glebie (mg·dm ⁻³)			
	azot mineralny (N-NH ₄ +N-NO ₃)		jod (I)	
1. Kontrola (bez N i I)	1,05 a		5,0 a	
2. KI (bez N)	0,65 a		4,1 a	
3. KIO ₃ (bez N)	0,61 a		4,7 a	
4. Ca(NO ₃) ₂ +KI	0,71 a		4,4 a	
5. Ca(NO ₃) ₂ +KIO ₃	0,73 a		4,1 a	
6. (NH ₄) ₂ SO ₄ +KI	0,91 a		5,5 a	
7. (NH ₄) ₂ SO ₄ +KIO ₃	0,96 a		3,4 a	

Uwaga! Wartości średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie dla P < 0,05.

Głównym akceptorem jodu są liście, a nie korzenie roślin [Strzetelski 2005]. W tym aspekcie inną przyczynę stosunkowo niskiej efektywności wzbogacania marchwi w jod, można upatrywać w procesie ulatniania jodu z liści do atmosfery w postaci metylowanych form tego pierwiastka – CH₃I [Saini i in. 1995]. Na podstawie wyników naszych badań nie można jednak obiektywnie stwierdzić, czy zmniejszenie zawartości jodu (w stosunku do kontroli) w liściach roślin z kombinacji nr 2, 5, 6 i 7 było spowodowane tylko i wyłącznie metylacją jodu do atmosfery czy też innymi procesami związanymi chociażby z ograniczaniem pobierania tego pierwiastka z gleby, a w konsekwencji transportu jodu z korzeni do liści.

Zastosowane zróżnicowane nawożenie jodem i azotem w istotny sposób oddziaływało na zawartość suchej masy, ekstraktu, karotenoidów i kwasu askorbinowego w korzeniach spichrzowych marchwi, nie powodowało natomiast istotnych zmian w zawartości cukrów rozpuszczalnych (tab. 2). W porównaniu do kontroli, we wszystkich badanych kombinacjach z nawożeniem N i I stwierdzono obniżenie zawartości suchej masy w marchwi. W obiektach nienawożonych azotem oraz w korzeniach spichrzowych roślin nawożonych (NH₄)₂SO₄ aplikacja jodu w formie KIO₃ w porównaniu do KI powodowała zmniejszenie zawartości suchej masy – różnice te były jednak stosunkowo niewielkie. Tylko w korzeniach spichrzowych roślin nienawożonych azotem aplikacja KI i KIO₃ wpłynęła na zmniejszenie zawartości ekstraktu

oraz karotenoidów. W pozostałych kombinacjach stwierdzono większą zawartość ekstraktu oraz karotenoidów w marchwi niż w kontroli. W odniesieniu do zawartości ekstraktu stosowanie KIO_3 (w porównaniu do KI) w obiektach nienawożonych azotem oraz nawożonych $Ca(NO_3)_2$ powodowało zmniejszenie, a w obiektach nawożonych $(NH_4)_2SO_4$ zwiększenie zmierzonych wartości Brix %. W odniesieniu do karotenoidów, jak również i kwasu askorbinowego forma aplikowanych związków jodu nie miała istotnego wpływu na zawartość tych składników w korzeniach spichrzowych roślin nawożonych zarówno $Ca(NO_3)_2$, jak i $(NH_4)_2SO_4$. Należy jednak zaznaczyć, że zastosowanie KIO_3 w obiektach nienawożonych azotem powodowało stosunkowo niewielkie zwiększenie zawartości kwasu askorbinowego w marchwi.

Tabela 2. Zawartość suchej masy, ekstraktu, cukrów rozpuszczalnych, karotenoidów i kwasu askorbinowego w korzeniach spichrzowych marchwi

Table 2. The content of: dry weight, extract, soluble sugars, carotenoids and ascorbic acid in carrot storage roots

Obiekt	Sucha masa (% s.m.)	Ekstrakt (Brix %)	Zawartość (mg·100g ⁻¹ św.m.)		
			cukrów rozpuszczalnych	karotenoidów	kwasu askorbinowego
1. Kontrola (bez N i I)	11,0 e	8,4 c	4812,8 a	17,5 b	4,8 ab
2. KI (bez N)	10,7 b	8,1 a	4282,6 a	16,0 a	4,2 a
3. KIO_3 (bez N)	10,5 a	8,2 b	4419,9 a	15,7 a	5,5 bc
4. $Ca(NO_3)_2$ +KI	10,8 c	8,8 f	4572,0 a	20,8 c	5,9 cd
5. $Ca(NO_3)_2$ + KIO_3	10,8 c	8,5 d	4736,8 a	20,3 c	6,6 d
6. $(NH_4)_2SO_4$ +KI	10,9 d	8,6 e	4933,2 a	20,0 c	5,9 cd
7. $(NH_4)_2SO_4$ + KIO_3	10,6 b	8,8 f	4574,1 a	20,4 c	6,4 d

Uwaga! Wartości średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie dla $P < 0,05$.

Pomimo wykazanego istotnego oddziaływania nawożenia roślin azotem i jodem na zawartość Ca, K, Mg, Na, P i S w marchwi (tab. 3) należy stwierdzić, że różnice w odniesieniu do zawartości Ca, Mg i S w korzeniach spichrzowych były stosunkowo niewielkie, pomimo wykazanych wyraźnych różnic pomiędzy badanymi obiektami w zawartości tych trzech pierwiastków w glebie po zakończonej uprawie marchwi. W porównaniu do kontroli, w korzeniach spichrzowych roślin we wszystkich badanych kombinacjach nawożenia N i I stwierdzono istotne zmniejszenie zawartości K i P (za wyjątkiem $(NH_4)_2SO_4$ + KIO_3 w przypadku P) oraz zwiększenie zawartości Na. Warto zauważyć, że zarówno w obiektach nienawożonych, jak i nawożonych azotem, wykazane różnice zawartości K w korzeniach marchwi pod wpływem stosowania KI lub KIO_3 były stosunkowo niewielkie, pomimo znacznego zróżnicowania zawartości K w glebie.

Aplikacja KIO_3 w porównaniu do KI powodowała istotne zwiększenie zawartości Na w marchwi nawożonej $Ca(NO_3)_2$ jak i $(NH_4)_2SO_4$, zmniejszenie zaś zawartości tego pierwiastka w korzeniach spichrzowych roślin nienawożonych azotem. Zastosowane w nawożeniu KIO_3 w porównaniu do aplikacji KI powodowało stosunkowo niewielkie, lecz staty-

stycznie istotne zmniejszenie zawartości P w korzeniach spichrzowych roślin nawożonych $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ oraz zwiększenie zawartości tego pierwiastka w marchwi nawożonej $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Należy podkreślić, że wykazane zmiany w zawartości Na oraz P w korzeniach spichrzowych marchwi nie korelowały z zawartością tych pierwiastków w glebie po uprawie marchwi.

Tabela 3. Wpływ doglebowego nawożenia jodem i azotem na zawartość Ca, K, Mg, Na, P i S w korzeniach spichrzowych i w glebie po uprawie marchwi

Table 3. Effect of soil application of nitrogen and iodine on Ca, K, Mg, Na, P and S content in carrot storage roots and in soil after carrot cultivation

Obiekt	Zawartość marchwi w korzeniach spichrzowych (% s.m.)					
	Ca	K	Mg	Na	P	S
1. Kontrola (bez N i I)	0,34 ab	3,13 e	0,105 abc	0,32 a	0,47 d	0,11 a
2. KI (bez N)	0,34 ab	2,82 c	0,101 a	0,41 c	0,42 bc	0,12 a
3. KIO_3 (bez N)	0,32 a	2,95 d	0,103 ab	0,39 b	0,42 bc	0,11 a
4. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ +KI	0,33 ab	2,35 b	0,106 abc	0,40 c	0,41 b	0,13 b
5. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ + KIO_3	0,32 a	2,23 a	0,111 cd	0,46 e	0,37 a	0,13 b
6. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ +KI	0,35 b	2,25 a	0,116 d	0,44 d	0,43 bc	0,15 c
7. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ + KIO_3	0,33 ab	2,39 b	0,109 bc	0,49 f	0,44 cd	0,15 c
	Zawartość w glebie ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$)					
1. Kontrola (bez N i I)	808,0 bc	39,4 d	90,8 bc	11,7 c	49,8 ab	3,8 a
2. KI (bez N)	989,3 d	31,3 cd	107,9 c	13,7 cd	51,5 ab	9,6 b
3. KIO_3 (bez N)	975,1 d	39,0 d	105,4 c	14,2 d	60,4 b	5,4 a
4. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ +KI	866,4 cd	26,5 bc	79,7 b	6,1 ab	76,4 c	4,3 a
5. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ + KIO_3	875,2 cd	14,6 a	83,7 b	4,6 a	46,2 a	3,8 a
6. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ +KI	680,2 ab	17,6 ab	55,8 a	7,4 b	49,8 ab	14,9 c
7. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ + KIO_3	630,1 a	17,4 ab	52,5 a	4,5 a	40,8 a	9,3 b

Uwaga! Wartości średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie dla $P < 0,05$.

4. WNIOSKI

1. Zastosowana w badaniach dawka jodu (wynosząca $1 \text{ mg l}^{-1}\text{dm}^{-3}$ gleby) wprowadzana do gleby w formie KI oraz KIO_3 nie spowodowała efektu biofortyfikacji korzeni spichrzowych i liści marchwi w jod – z wyjątkiem liści roślin z kombinacji KIO_3 (bez nawożenia azotem) oraz $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ +KI.
2. Zarówno w obiektach nienawożonych jak i nawożonych azotem, doglebowa aplikacja jodu w formie KIO_3 w stosunku do KI spowodowała zwiększenie zawartości azotu ogółem w korzeniach spichrzowych, nie miała natomiast wpływu na zawartość tego składnika w liściach marchwi.

3. Zarówno w zależności od nawożenia azotem, jak i od rodzaju zastosowanego nawozu azotowego wykazano zróżnicowane oddziaływanie nawożenia jodem w formie KI oraz KIO_3 na zawartość suchej masy, ekstraktu, karotenoidów, kwasu askorbinowego, Ca, K, Mg, Na, P oraz S w korzeniach spichrzowych marchwi.
4. Zastosowane nawożenie jodem i azotem nie miało istotnego wpływu na zawartość cukrów rozpuszczalnych w korzeniach spichrzowych marchwi.

PIŚMIENNICTWO

- HE F.J., MACGREGOR G.A. 2008. A comprehensive review on salt and health and current experience of worldwide salt reduction programmes. *J. Human Hypertension*: 1–22.
- KABATA-PENDIAS A., MUKHERJEE A.B. 2007. Trace elements from soil to human. Springer. Berlin.
- MURAMATSU Y., YOSHIDA S., UCHIDA S. 1996. Iodine Desorption From Rice Paddy Soil. *Water, Air and Soil Pollution* 86: 359–371.
- SAINI H.S., ATTIEH J.M., HANSON A.D. 1995. Biosynthesis of halomethanes and methanethiol by higher plants via novel methyltransferase reaction. *Plant, Cell and Environment* 18: 1027–1033.
- SMOLEŃ S., STRZETELSKI P. 2007. Oznaczanie jodu w próbkach szpinaku i rzodkiewki poprzez inkubację z 2% kwasem octowym. Wewnętrzna instrukcja laboratoryjna. Wydział Ogrodniczy, Akademia Rolnicza w Krakowie.
- STRZETELSKI P. 2005. Występowanie i przemieszczanie jodu w systemie gleba – roślina. *Postępy Nauk Rolniczych* 6: 85–100.
- SZYBIŃSKI Z. 2005. Niedobór jodu w ciąży – nadal aktualny problem zdrowia publicznego. *Endokrynologia Polska* 56 (1): 65–71.
- WENG H.X., YAN A.L., HONG C.L., QIN Y-C., PAN L. XIE L.L. 2008. Biogeochemical transfer and dynamics of iodine in a soil–plant system. *Environmental Geochemistry and Health*. DOI 10.1007/s10653-008-9193-6.
- 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 Phytologist* 182 (1): 49–84.
- WHITEHEAD D.C. 1984. The distribution and transformation of iodine in the environment. *Environment International* 10: 321–339.
- WILMOWSKA-PIETRUSZYŃSKA A. 2008. System opieki zdrowotnej w Polsce a bezpieczeństwo zdrowotne ludności. W: A. Potrykowska, E. Orzelek (red.) *Biuletyn Rządowej Rady Ludnościowej* 53: 87–101.
- YAMAGUCHI N., NAKANO M., TANIDA H. 2005. Transformation of Iodine Species in Soil under Upland Field and Submerged Paddy Field Conditions. *SPring-8 Res Front*. http://www.spring8.or.jp/pdf/en/res_fro/05/112-113.pdf