

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

WPŁYW NAWOŻENIA JODEM I AZOTEM NA WIELKOŚĆ I JAKOŚĆ PLONU MARCHWI

THE EFFECT OF IODINE AND NITROGEN FERTILIZATION ON QUANTITY AND QUALITY OF CARROT YIELD WELL AS ON BIOLOGICAL QUALITY CARROT

Słowa kluczowe: jod, azotany, związki fenolowe, właściwości antyoksydacyjne.

Key words: iodine, nitrate, phenolic compounds, antioxidant properties.

In 2008 carrot 'Kazan F₁' was cultivated in a pot experiment on heavy soil with iodine application (in the concentration of 1 mg l-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. Storage roots of plants supplied with iodine (in the form of KI and KIO₃) both with N and without nitrogen fertilization contained significantly less chlorides than roots of plants not treated with iodine. KIO₃ application resulted in an increase of nitrate concentration in roots fertilized with Ca(NO₃)₂ as well as in roots without nitrogen supply. The lowest amount of nitrate was found in plants after application of KIO₃ only. In individual combinations of the experiment variable interactions between soil application of iodine (in the form of KI and KIO₃) and nitrogen fertilization were shown with regard to concentration of: ammonium ions, free amino acids, phenolic compounds, phenylpropanoids and flavonoids in carrot storage roots. Iodine fertilization in combination with different nitrogen forms had no significant effect both on yield and nitrite content as well as on free radical scavenging activity in carrot.

* *Dr inż. Sylwester Smoleń – Katedra Uprawy Roli i Nawożenia Roślin Ogrodniczych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Al. 29 Listopada 54, 31-425 Kraków; tel.: 12 662 52 39; e-mail: Sylwester.Smolen@interia.pl*

** *Prof. dr hab. Włodzimierz Sady – Katedra Uprawy Roli i Nawożenia Roślin Ogrodniczych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Al. 29 Listopada 54, 31-425 Kraków; tel.: 12 662 52 39*

****Dr Piotr Strzetelski, prof. dr hab. Stanisław Rożek, mgr inż. Iwona Ledwożyw – Katedra Fizjologii Roślin, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Al. 29 Listopada 54, 31-425 Kraków; tel.: 12 662 52 39.*

1. WPROWADZENIE

Biofortyfikacja (wzbogacanie) roślin w jod jest postulowana jako alternatywna droga – w stosunku do jodowania soli kuchennej – wprowadzenia tego pierwiastka do diety człowieka [Strzetelski 2005]. Choć jod nie spełnia kryterium niezbędności dla roślin lądowych (nie jest uznawany za mikroskładnik pokarmowy), to jednak przy niskich stężeniach tego pierwiastka obserwowany jest jego pozytywny wpływ na rośliny. Przyczyny tego zjawiska nie zostały dotychczas wyjaśnione [Kabata-Pendias, Mukherjee 2007]. Z tego powodu opracowanie skutecznych agrotechnicznych metod biofortyfikacji roślin w jod wymaga również określenia ubocznego oddziaływania tego pierwiastka na jakość biologiczną plonu.

2. CEL, MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Celem badań było określenie wpływu doglebowego nawożenia jodem w formie jodku (I) i jodanu (IO_3^-) w połączeniu ze zróżnicowanym (pod względem dawki i formy nawozu azotowego) nawożeniem azotem na wielkość i jakość plonu marchwi.

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 w dniu 25.04.2008 r.

Zawartość przyswajalnych form składników pokarmowych przed rozpoczęciem uprawy uzupełniono do poziomu: P–80 mg i K–170 mg na dm^3 gleby, stosując nawożenie KH_2PO_4 (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 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ i Ca–1026 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, pokrywała potrzeby pokarmowe marchwi. Zawartość azotu mineralnego w glebie przed rozpoczęciem uprawy wynosiła: N- NH_4 2,4 mg i N- NO_3 8,5 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ gleby.

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

- 1) kontrola bez doglebowego nawożenia N i I,
- 2) nawożenie I, w formie KI bez doglebowego nawożenia N,
- 3) nawożenie I, w formie KIO_3 bez doglebowego nawożenia N,
- 4) nawożenie N+I, w formie $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ i KI,
- 5) nawożenie N+I, w formie $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ i KIO_3 ,
- 6) nawożenie N+I, w formie $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ i KI,
- 7) nawożenie N+I, w formie $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ i KIO_3 .

Azot i jod aplikowano jednorazowo, przedsięwziętym, w dawce 100 mg N i 1 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ gleby – w przeliczeniu 200 kg N i 2 kg I· ha^{-1} . Aplikacja w formie: KI i KIO_3 – odczynniki cz.d.a.

(KI – POCh; KIO₃ – Sigma Aldrich), Ca(NO₃)₂ – nawóz firmy Yara, oraz (NH₄)₂SO₄ – nawóz Z.A. Kędzierzyn.

Zbiór marchwi połączony z pobraniem prób gleby i korzeni spichrzowych do analiz przeprowadzono 2.10.2008 r. W marchwi (w ekstraktach sporządzonych za pomocą 2% CH₃COOH) oznaczono zawartość: chlorków (Cl⁻) metodą nefelometryczną, jonów amonowych, azotanów(V) i azotanów(III) metodą FIA. W próbach marchwi oznaczono zawartość: wolnych aminokwasów w reakcji z ninhydryną, związków fenolowych z odczynnikiem Folina i Ciocalteu'a, fenylopropanoidów, flawonoidów i antocyjanów metodą Fakumoto i Mazza [2000] oraz zdolność zmiatania wolnych rodników w oparciu na reakcji ekstraktu tkanki roślinnej z difenylpikrazylodiazolem (DPPH), według metody Pekkarinen'a i innych [1999]. W próbach gleby pobranych po zbiorze marchwi oznaczono: odczyn pH_(H₂O) potencjometrycznie, ogólne stężenie soli (EC) konduktometrycznie. W ekstraktach glebowych sporządzonych za pomocą 0,03 M CH₃COOH oznaczono zawartość N-NH₄ i N-NO₃ metodą FIA oraz zawartość chlorków (Cl⁻) metodą nefelometryczną.

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

Wykazano, że zastosowanie nawożenia azotowego powodowało statystycznie istotne zwiększenie wielkości plonu naci i korzeni spichrzowych marchwi (tab. 1). Nie stwierdzono natomiast oddziaływania na plon marchwi nawożenia jodem w formie KI i KIO₃, zarówno w obiektach nienawożonych, jak i nawożonych azotem w formie Ca(NO₃)₂ i (NH₄)₂SO₄.

Tabela 1. Wpływ doglebowego nawożenia jodem i azotem na plon marchwi

Table 1. Effect of soil application of iodine and nitrogen on carrot yield

Obiekt	Wielkość plonu (kg · m ⁻²)			Średnia masa (g)		
	naci	korzeni spichrzowych	biomasy (nać+ korzenie)	jednego korzenia spichrzowego	naci z jednej rośliny	całej rośliny (nać+ korzeń)
1. Kontrola (bez N i I)	2,0 a	4,8 a	6,7 a	19,3 a	8,0 a	27,3 a
2. KI (bez N)	2,2 ab	5,1 ab	7,3 a	21,9 ab	9,3 ab	31,2 ab
3. KIO ₃ (bez N)	2,2 ab	5,4 ab	7,6 ab	20,1 a	8,0 a	28,2 a
4. Ca(NO ₃) ₂ +KI	2,7 ab	7,1 c	9,8 c	30,9 c	11,7 b	42,6 c
5. Ca(NO ₃) ₂ +KIO ₃	2,9 b	7,2 c	10,2 c	30,8 c	12,3 b	43,1 c
6. (NH ₄) ₂ SO ₄ +KI	3,0 b	7,3 c	10,3 c	28,1 bc	11,3 ab	39,5 bc
7. (NH ₄) ₂ SO ₄ +KIO ₃	2,9 b	6,5 bc	9,4 bc	24,1 abc	10,9 ab	35,0 abc

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

Interesujące, statystycznie istotne zależności pomiędzy doglebowym nawożeniem jodem i azotem stwierdzono w wyniku oznaczenia zawartości chlorków, azotanów, jonów amonowych i wolnych aminokwasów. Nie stwierdzono natomiast istotnego wpływu badanych czynników na zawartość azotynów w marchwi (tab. 2). We wszystkich obiektach korzenie spichrzowe roślin nawożonych jodem (w formie KI i KIO₃), zarówno tych nienawożonych, jak i nawożonych azotem, zawierały istotnie mniej chlorków od roślin kontrolnych nienawożonych jodem i azotem. Należy podkreślić, że wyniki te uzyskano przy wyrównanej zawartości chlorków w glebie (tab. 3). Zmniejszenie zawartości jonów Cl⁻ w marchwi pod wpływem nawożenia jodem mogło być spowodowane, według Szkolnika [1980], silnym antagonistycznym oddziaływaniem jodu na chlor podczas pobierania tych składników przez rośliny.

Pomimo wykazanych istotnych statystycznie różnic, zmiany odczynu gleby po uprawie marchwi w większym stopniu związane były z zastosowanym nawożeniem azotem niż z aplikacją jodu w formie KI i KIO₃ (tab. 3).

Tabela 2. Wpływ nawożenia jodem i azotem na zawartość chlorków, azotanów, azotynów, jonów amonowych oraz wolnych aminokwasów w marchwi

Table 2. Effect of iodine and nitrogen fertilization on the content of: chlorides, nitrates, nitrites, ammonium ions and free amino acids in carrot roots

Obiekt	Zawartość (mg · kg ⁻¹ św.m.)				Wolne aminokwasy (mg N ₂ · 100 g ⁻¹ św.m.)
	chlorki (Cl ⁻)	azotany (NO ₃ ⁻)	azotyny (NO ₂ ⁻)	jony amonowe (NH ₄ ⁺)	
1. Kontrola (bez N i I)	343,6 b	26,3 a	0,1 a	1,1 a	2,2 a
2. KI (bez N)	155,5 a	82,6 b	0,9 a	1,5 a	4,7 b
3. KIO ₃ (bez N)	139,5 a	199,7 e	0,1 a	1,6 a	5,7 b
4. Ca(NO ₃) ₂ +KI	79,5 a	91,3 b	0,4 a	2,6 b	17,8 d
5. Ca(NO ₃) ₂ +KIO ₃	184,9 a	152,8 d	0,5 a	2,5 b	14,5 c
6. (NH ₄) ₂ SO ₄ +KI	125,3 a	124,9 c	4,9 a	1,4 a	14,1 c
7. (NH ₄) ₂ SO ₄ +KIO ₃	70,0 a	115,7 c	0,9 a	2,6 b	20,1 e

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

Generalnie rośliny nienawożone azotem akumulują mniej azotanów niż rośliny nawożone tym składnikiem, a żywienie roślin azotem w formie N-NO₃ powoduje wzrost poziomu akumulacji azotanów w plonie w porównaniu do żywienia formami zredukowanymi azotu N-NH₄ i N-NO₃ [Rożek 2000, Wanng, Li 2004]. Zależności te wynikają ze złożonych mechanizmów regulacji pobierania i asymilacji azotu przez rośliny, w tym regulacji na poziomie pre- i postranslacyjnym aktywności enzymu reduktazy azotanowej, który przeprowadza proces redukcji azotanów do azotynów w roślinach [Campbell 1999, Rożek 2000]. Na tle przedstawionych informacji szczególnie interesujące jest to, że w naszych badaniach największą zawartość azotanów stwierdzono w marchwi z obiektu nawożonego KIO₃, lecz nienawożonego azotem, najniższa zaś zawartość tych związków odznaczała korzenie spichrzowe ro-

ślin kontrolnych nienawożonych azotem i jodem (tab. 2). Warto również zauważyć, że zarówno w obiektach nienawożonych N, jak i nawożonych $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ aplikacja jodu w formie KIO_3 powodowała istotne zwiększenie zawartości azotanów w marchwi w porównaniu do jodu stosowanego w formie KI. Takich zależności nie odnotowano natomiast przy nawożeniu roślin $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Zastosowanie KIO_3 w porównaniu do KI powodowało natomiast statystycznie istotne (choć stosunkowo niewielkie) zwiększenie zawartości jonów amonowych w korzeniach spichrzowych roślin nawożonych $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. W roślinach kontrolnych nienawożonych azotem, jak i nawożonych $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, forma jodu aplikowanego doglebowo nie miała istotnego wpływu na zawartość jonów amonowych. Nawożenie KIO_3 w porównaniu do KI powodowało zwiększenie zawartości wolnych aminokwasów w marchwi nawożonej $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, a zmniejszenie w roślinach nawożonych $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. W obiektach nienawożonych azotem aplikacja doglebowa jodu zarówno w formie KI jak i KIO_3 powodowała wzrost zawartości wolnych aminokwasów w marchwi. Należy pokreślić, że wykazane różnice w zawartości azotanów, jonów amonowych i wolnych aminokwasów w marchwi uzyskano w warunkach wyrównanej zawartości azotu mineralnego w glebie (form N-NH_4 i N-NO_3 – tab. 3), co w sposób pośredni świadczy o oddziaływaniu nawożenia jodem w formie KI i KIO_3 na szlak metaboliczny azotu w roślinach marchwi. Stosunkowo bardzo niewielka liczba badań dotyczących wpływu jodu na funkcjonowanie gospodarki mineralnej, w tym na szlak metaboliczny azotu w roślinach, niezwykle utrudnia obiektywną interpretację przedstawionych wyżej wyników. Wyniki badań Hung i in. [2005] wskazują, że w glonach morskich istnieje potencjalna możliwość redukcji IO_3^- do I^- przez reduktazę azotanową. W pośredni sposób może to świadczyć o tym, że zwiększona podaż IO_3^- przy niskiej zawartości azotu w glebie (brak nawożenia azotem) może utrudniać redukcję azotanów do azotynów przez rośliny.

Wyniki badań Blanco i in. [2008] wykazały, że wzrastające stężenia jodu (zarówno w formie I^- jak i IO_3^-) w podłożu w zakresie 0, 10, 20, 40, 80 μM I, powodowały wzrost zawartości związków fenolowych, flawonoidów i antocyjanów w sałacie uprawianej w wermikulicie. W prezentowanych tu badaniach zastosowane nawożenie N i I miało statystycznie istotny wpływ na zawartość związków fenolowych, fenylopropanoidów i flawonoidów, nie stwierdzono natomiast istotnego wpływu badanych czynników na aktywność antyutleniającą marchwi (tab. 4). W obiektach kontrolnych nienawożonych azotem aplikacja doglebowa jodu powodowała zmniejszenie zawartości związków fenolowych, fenylopropanoidów i flawonoidów w marchwi, przy czym efekt ten był silniejszy przy zastosowaniu jodu w formie KIO_3 . W porównaniu do aplikacji doglebowej jodu w formie KI w obiektach nawożonych $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ zastosowanie jodu w formie KIO_3 również powodowało zmniejszenie zawartości związków fenolowych, fenylopropanoidów i flawonoidów w marchwi. Przy nawożeniu $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ forma IO_3^- wpłynęła jedynie na wzrost zawartości związków fenolowych w marchwi.

Warto zauważyć, że w korzeniach spichrzowych roślin nawożonych $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ i KIO_3 zawartość związków fenolowych w marchwi była większa niż w kontroli. Należy nadmienić, że zastosowane nawożenie jodem zarówno w obiektach nienawożonych azotem, jak i na-

wożonych $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ i $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, powodowało zmniejszenie zawartości antocyjanów w marchwi do poziomu niższego niż możliwy do ich obiektywnego oznaczenia techniką spektrofotometryczną.

Tabela 3. Odczyn (pH), ogólne stężenie soli w glebie (EC) oraz zawartość chlorków i mineralnych form azotu w glebie po uprawie marchwi

Table 3. Reaction (pH), salt concentration (EC) and content of chlorides and mineral forms of nitrogen in soil after carrot cultivation

Obiekt	pH	EC ($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Zawartość ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ gleby)		
			Cl	N- NH_4	N- NO_3
1. Kontrola (bez N i I)	7,29 b	0,10 a	1,7 a	0,3	0,8 a
2. KI (bez N)	7,30 b	0,09 a	0,4 a	0	0,6 a
3. KIO_3 (bez N)	7,37 cd	0,09 a	0,5 a	0	0,6 a
4. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ +KI	7,41 d	0,08 a	1,3 a	0	0,7 a
5. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ + KIO_3	7,31 bc	0,09 a	3,0 a	0	0,7 a
6. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ +KI	6,56 a	0,08 a	0,5 a	0,4	0,6 a
7. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ + KIO_3	6,59 a	0,09 a	1,4 a	0	1,0 a

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

Tabela 4. Wpływ nawożenia jodem i azotem na aktywność antyutleniającą (DPPH) oraz na zawartość związków fenolowych, fenylopropanoidów, flawonoidów i antocyjanów w marchwi

Table 4. Effect of iodine and nitrogen fertilization on free radical scavenging activity (DPPH) and content of phenolic compounds, phenylpropanoids, flavonoids and anthocyanins in carrot roots

Obiekt	DPPH (%)	Zawartość ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ św.m.)			
		związki fenolowe	fenylopropanoidy	flawonoidy	antocyjany
1. Kontrola (bez N i I)	5,7 a	56,0 d	9,9 d	5,7 c	0,78
2. KI (bez N)	5,8 a	48,5 b	8,4 c	4,5 b	0
3. KIO_3 (bez N)	4,8 a	46,8 a	7,3 bc	3,9 ab	0
4. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ +KI	6,3 a	56,7 de	7,3 bc	4,1 b	0
5. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ + KIO_3	6,2 a	51,9 c	5,8 a	3,2 a	0
6. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ +KI	5,7 a	58,1 e	6,6 ab	3,6 ab	0
7. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ + KIO_3	5,8 a	63,9 f	7,1 b	4,1 b	0

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

4. WNIOSKI

1. Nawożenie jodem na tle zróżnicowanego nawożenia azotem nie miało statystycznie istotnego wpływu na wielkość plonu jak i na zawartość azotynów oraz na aktywność wolnorodnikową korzeni spichrzowych marchwi.

2. Wykazano zróżnicowaną interakcję pomiędzy doglebową aplikacją jodu w formie KI i KIO_3 a nawożeniem azotowym na zawartość: azotanów, jonów amonowych, wolnych aminokwasów, związków fenolowych, fenylopropanoidów i flawonoidów w marchwi.
3. Aplikacja KIO_3 , w porównaniu do KI, powodowała wzrost zawartości azotanów w marchwi nawożonej $Ca(NO_3)_2$ jak i w kontroli nienawożonej azotem.
4. We wszystkich obiektach korzenie spichrzowe roślin nawożonych jodem (w formie KI i KIO_3), zawierały istotnie mniej chlorków od korzeni roślin nienawożonych jodem.

PIŚMIENNICTWO

- BLASCO B., RIOS J.J., CERVILLA L.M., SÁNCHEZ-RODRIGEZ E., RUIZ J.M., ROMERO L. 2008. Iodine biofortification and antioxidant capacity of lettuce: potential benefits for cultivation and human health. *Annals of Applied Biology* 152: 289–299.
- CAMPBELL W.H. 1999. Nitrate reductase structure, function and regulation: Bridging the gap between biochemistry and physiology. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50: 277–303.
- FAKUMOTO L., MAZZA G. 2000. Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48 (8): 3597–3604.
- HUNG C.C., WONG G.T.F., DUNSTAN W.M. 2005. Iodate reduction activity in nitrate reductase extracts from marine phytoplankton. *Bulletin of Marine Science* 76 (1): 61–72.
- KABATA-PENDIAS A., MUKHERJEE A.B. 2007. Trace elements from soil to human. Springer, Berlin.
- PEKKARINEN S.S., STOCKMANN H., SCHWARZ K., HEINNONEN M., HOPIA A. 1999. Antioxidant activity and partitioning of phenolic AIDs in bul kand emulsified metyl linoleate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47: 3036–3043.
- ROŻEK S. 2000. Czynniki wpływające na akumulację azotanów w plonie warzyw. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie* 364 (71): 19–31.
- STRZETELSKI P. 2005. Występowanie i przemieszczanie jodu w systemie gleba-roślina. *Postępy Nauk Rolniczych* 6: 85–100.
- SZKOLNIK M. 1980. Mikroelementy w życiu roślin. PWRiL, Warszawa.
- WANNG Z., LI S. 2004. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on plant growth and nitrate accumulation in vegetables. *Journal of Plant Nutrition* 27 (3): 539–556.