

Sylwester Smoleń*, Iwona Ledwożyw-Smoleń**

**WPŁYW KONCENTRATU SUBSTANCJI HUMUSOWYCH NA
EFEKTYWNOŚĆ BIOFORTYFIKACJI W JOD ORAZ NA JAKOŚĆ
BIOLOGICZNĄ ROŚLIN SZPINAKU**

**THE EFFECT OF HUMIC ACID CONCENTRATE ON THE
EFFECTIVENESS OF IODINE BIOFORTIFICATION AND BIOLOGICAL
QUALITY OF SPINACH PLANTS**

Słowa kluczowe: jod, biofortyfikacja, azotany, azot, skład mineralny, szpinak.

Key words: iodine, biofortification, nitrate, nitrogen, mineral composition, spinach.

*Plant biofortification with iodine through soil fertilization is low-effective due to changes this element undergoes in soil environment. The aim of the work was to determine the influence of exogenous soil humic substances on yield, iodine biofortification and nutritional quality of spinach. In a two-year pot experiment, cultivation of spinach *Spinacia oleracea* L. 'Olbrzym zimowy' cv. was carried out on mineral soil. The study included treatments with pre-sowing application of Humistar (humic acid concentrate) in a dose of 0.2 ml per 1 dm³ of soil and plant fertigation with 0.0004% I solution (iodine applied in the form of KIO₃). The following combinations were distinguished:*

- 1) control – without iodine and Humistar application,
- 2) fertigation with KIO₃,
- 3) application of Humistar,
- 4) fertigation with KIO₃+Humistar.

Fertigation with iodine was conducted while maintaining the same amount of water for plant watering in each combination. During spinach cultivation, approximately 1.1 mg l·dm³ was introduced to soil by KIO₃ fertigation. In comparison to the control, iodine content in plants fertilized with this element increased by 1181% and 1710% – for combinations with KIO₃ fertiga-

* Dr inż. Sylwester Smoleń – 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

** Mgr inż. Iwona Ledwożyw-Smoleń – Katedra Botaniki i Fizjologii Roślin, Wydział Ogrodniczy, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Al. 29 Listopada 54, 31-425 Kraków; tel.: 12 662 52 10.

tion and KIO_3 fertigation+Humistar, respectively. No significant influence of tested treatments on spinach yield was observed. Plant fertigation with KIO_3 (combination no. 2) significantly increased K and Fe level as well as reduced the content of: dry matter, free amino acids, NO_2^- , NH_4^+ , P, Ca, Na, Mo and Zn in spinach leaves when compared to the control. Simultaneous application of KIO_3 and Humistar (in comparison to KIO_3 fertigation) increased the content of: dry matter, free amino acids, NO_2^- , N, Na and B as well as decreased Fe accumulation in spinach.

1. WPROWADZENIE

Wzbogacanie (biofortyfikacja) roślin w jod może być naturalnym, alternatywnym do jodowania soli kuchennej, sposobem introdukcji tego pierwiastka do łańcucha pokarmowego, a przez to do diety człowieka. Idea wykorzystania roślin jako nośnika jodu do diety nie jest nowa – pierwsze badania z tego zakresu przeprowadzono w latach czterdziestych ubiegłego stulecia [Hageman i in. 1942]. W Polsce oraz wielu innych krajach (zwłaszcza rozwiniętych gospodarczo) aktualnie obowiązującym modelem suplementacji diety w ten pierwiastek jest jodowanie soli kuchennej. Pomimo skuteczności tej metody w celu przeciwdziałaniu niedoborom jodu w diecie, nadmierne spożycie soli kuchennej w globalnym wymiarze jest jedną z głównych przyczyn wzrostu zapadalności ludzi na choroby układu krążenia (nadciśnienie tętnicze, miażdżycy) oraz niektórych chorób nowotworowych. Z tego powodu WHO opracowała program „Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health” 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.

Jod nie jest składnikiem pokarmowym roślin, dlatego przed powszechnym wdrożeniem do praktyki rolniczej agrotechnicznych zasad produkcji roślin ze zwiększoną zawartością tego składnika należy przeprowadzić kompleksowe badania, dokumentujące jego uboczny wpływ na fizjologiczne i biochemiczne procesy zachodzące w roślinach.

Istotnym ograniczeniem w efektywności wzbogacania roślin w jod przez doglebowe nawożenie tym pierwiastkiem jest fakt, że po trzech dniach od wprowadzenia jodu do gleby około 95% tego składnika ulega on silnej sorpcji z półtoratlenkami Al i Fe [Muramatsu i in. 1990, Yoshida i in. 1992]. Proces desorpcji tego pierwiastka jest bardzo powolny, co utrudnia jego pobieranie z gleby przez korzenie roślin [Fuge, Johnson 1986; Muramatsu i in. 1996; Yamaguchi i in. 2005]. Desorpcja jodu zachodzi z większą intensywnością przy ujemnych wartościach potencjału oksydo-redukcyjnego gleby (Eh), które pojawiają się w warunkach beztlenowych powodowanych na przykład długotrwałym nadmiernym uwilgotnieniem gleb.

Badania Yamaguchi i in. [2005] wykazały, że przy udziale kwasów humusowych w glebie następuje przekształcenie jodu w formie IO_3^- do jodu cząsteczkowego I_2 , który może ulatniać się do atmosfery lub też ulec wiązaniu z glebową materią organiczną. W ostatnich kilku latach w produkcji rolniczej coraz powszechniej stosowane są polepszacze glebowe zawierające skoncentrowane kwasy humusowe. Z tego powodu istotne jest sprawdzenie,

czy i w jakim stopniu dogłębowa aplikacja egzogennych kwasów próchnicznych wpłynie na proces biofortyfikacji roślin szpinaku w jod oraz ich jakość biologiczną.

Badania Ujowundu i in. [2010] wskazały, że fertygacja roślin roztworami KIO_3 może wpłynąć na usprawnienie pobierania jodu przez rośliny. Większa w stosunku do nawożenia przedsiewnego efektywność wzbogacenia roślin w jod przez fertygację może przyczynić się do obniżenia kosztów biofortyfikacji roślin w jod. Interesujące jest zatem sprawdzenie, czy i w jakim zakresie przedsiewna aplikacja egzogennych swoistych substancji humusowych wpłynie na proces pobierania jodu wprowadzanego na drodze fertygacji – nawadniania roztworem o niskiej zawartości jodu.

Celem badań było określenie wpływu fertygacji roślin roztworem jodu w formie IO_3^- oraz dogłębowej przedsiewnej aplikacji egzogennych swoistych substancji próchnicznych (humusowych) na plon, efektywność biofortyfikacji w ten pierwiastek oraz jakość biologiczną szpinaku.

2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

W dwuletnim doświadczeniu wazonowym szpinak (*Spinacia oleracea* L.) – ‘Olbrzym zimowy’ był uprawiany w sezonie wiosennym w nieogrzewanym tunelu foliowym w pojemnikach o wymiarach 60 × 40 × 20 cm. Pojemniki były wypełnione glebą mineralną (sklasyfikowaną jako glina lekka pylasta o składzie granulometrycznym: 35% piasku, 28% pyłu i 37% iltu), ze średnią zawartością substancji organicznej na poziomie 2,76% oraz następującą zawartością dostępnych dla roślin form składników mineralnych ekstrahowanych za pomocą 0,03 mol kwasu octowego: N ($N-NO_3 + N-NH_4$) 58,7 mg, P 39,3 mg, K 73,3 mg, Mg 151,5 mg, Ca 1245,2, S 17,2, Na 6,8 i Cl 0,0 mg w 1 dm³ gleby. Odczyn gleby wynosił $pH_{(H_2O)}$ 6,97, potencjał oksydo-redukcyjny (Eh) +326,7 mV, a ogólne stężenie soli w glebie (EC) 0,31 mS · cm⁻¹. Zawartość dostępnych dla roślin form azotu, fosforu i potasu była uzupełniona w glebie przed siewem nasion do poziomu 100 mg N, 60 mg P i 160 mg K w 1 dm³ gleby przy zastosowaniu saletry wapniowej, fosforanu monopotasowego i siarczanu potasu. Rośliny w pojemnikach (we wszystkich badanych kombinacjach) podlewano jednakową ilością wody wodociągowej.

Badaniami objęto kombinacje z przedsiewną aplikacją preparatu Humistar (koncentrat glebowych kwasów humusowych), w dawce 0,2 ml · dm⁻³ gleby oraz fertygacją roślin jodem (w formie KIO_3), w stężeniu 0,0004% l. Wyróżniono następujące obiekty badań:

- 1) kontrola bez aplikacji jodu i Humistaru,
- 2) fertygacja KIO_3 ,
- 3) Humistar,
- 4) fertygacja KIO_3 +Humistar.

Każdorazowo fertygację jodem przeprowadzono z zachowaniem jednakowej dawki wody do podlewania we wszystkich kombinacjach. W obydwu latach prowadzenia badań w okresie uprawy wprowadzono wraz z fertygacją około 1,1 mg l · dm⁻³ gleby – 1,16 i 1,04 mg l · dm⁻³ gleby odpowiednio w pierwszym i drugim roku badań.

Doświadczanie przeprowadzono metodą rozlosowaną w trzech powtórzeniach. Każde powtórzenie (jeden pojemnik) składało się z 4 rzędów po 10 roślin w rzędzie. Siew nasion po około 20 sztuk nasion w rzędzie wykonano 20 i 23 marca – odpowiednio w pierwszym i drugim roku badań. Po wschodach rośliny przzerwano pozostawiając po 10 roślin w jednym rzędzie (40 szt. roślin na jeden pojemnik – powtórzenie). Zbiór szpinaku połączony z oceną plonowania oraz pobraniem prób liści do analiz wykonano odpowiednio 28 kwietnia oraz 4 maja – w kolejnych latach badań.

W liściach szpinaku oznaczono zawartość:

- 1) suchej masy metodą suszarkową w 105°C, szczawianów rozpuszczalnych metodą miareczkową 0,02 mol KMnO₄ [Wierzbicka 2004],
- 2) cukrów rozpuszczalnych metodą antronową [Yemm i Wills 1954],
- 3) związki fenolowe z odczynnikiem Folina [Swain i Hillis 1959],
- 4) wolnych aminokwasów w reakcji z ninhydriną [Korenman 1973].

Po ekstrakcji prób przy użyciu 2% kwasu octowego [Nowosielski 1988] oznaczono zawartość azotanów(V), azotanów(III) i jonów amonowych techniką FIA [PN-EN ISO 11732:2001, PN-EN ISO 13395:2001] oraz chlorków metodą nefelometryczną [Breś i in. 2003].

Zawartość N-ogółem oznaczono metodą Kiejdahla [Persson i Wennerholm 1999]. Do oznaczenia jodu po inkubacji prób z 25% TMAH [PN-EN 15111 – 2008] oraz P, K, Mg, Ca, S, Na, B, Cu, Fe, Mn, Mo i Zn po mineralizacji prób 65% superczystym HNO₃ [Paślowski, Mi-gaszewski 2006] wykorzystano technikę ICP-OES przy użyciu spektrometru wysokiej rozdzielczości Prodigy Teledyne Leeman Labs.

W glebie przed uprawą oznaczono zawartość substancji organicznej metodą Tiurina. Zawartość N-mineralnego (N-NH₄, N-NO₃), P, K, Mg, Ca, S, Na i Cl oznaczono po ekstrakcji gleby 0,03 mol kwasem octowym [Nowosielski 1988]. Zawartość azotu w ekstraktach glebowych oznaczono techniką FIA [PN-EN ISO 11732:2001, PN-EN ISO 13395:2001], P, K, Mg, Ca, S i Na techniką ICP-OES, a chlorki metodą nefelometryczną [Breś i in. 2003].

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

3.1. Uzyskane wyniki badań

Wszystkie uzyskane wyniki badań przedstawiono w tabeli 1. Stwierdzono statystycznie istotny wpływ badanych związków na zawartość: suchej masy, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, Cl⁻, N-ogółem, P, K, Ca, Na, jodu, B, Fe, Mn, Mo, Zn i wolnych aminokwasów w szpinaku. W porównaniu z kontrolą, zarówno fertygacja KIO₃, przedsięwzięcie stosowanie Humistaru, jak i fertygacja KIO₃+Humistar, nie miały istotnego wpływu na wielkość plonu, masę jed-

nej rośliny oraz zawartość: Mg, S, Cu, szczawianów rozpuszczalnych, cukrów rozpuszczalnych i związków fenolowych w roślinach. Warto zauważyć, że we wszystkich badanych kombinacjach w stosunku do roślin kontrolnych w równym stopniu stwierdzono zwiększenie zawartości K oraz zmniejszenie zawartości NH_4^+ i Mo w szpinaku. Jednakże w liściach roślin traktowanych przedsięwzięciem Humistarem obniżenie zawartości Mo nastąpiło w najmniejszym stopniu.

Tabela 1. Wpływ formy fertygacji jodem i koncentratu kwasu humusowych na plon, efektywność biofortyfikacji w ten pierwiastek oraz skład chemiczny roślin szpinaku.

Table 1. Effect of fertigation with iodine and humic acid concentrate on yield, effect of biofortification and chemical composition of spinach plants.

Obiekt	Plon, kg·m ⁻²	Masa jednej rośliny, g	sucha masa, %	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	Cl ⁻
				mg·kg ⁻¹ św.m.			
Kontrola	1,70	9,6	8,36 b	3823,8 b	0,36 b	14,3 b	731,2 a
Fert. KIO ₃	1,69	10,3	7,96 a	3720,4 b	0,02 a	11,9 a	671,1 a
Humistar	1,76	11,0	7,84 a	3476,1 a	0,21 b	12,2 a	881,0 b
Fert. KIO ₃ +Humistar	1,80	10,2	8,26 b	3727,5 b	0,22 b	12,8 a	754,8 a
Test F	n.i.	n.i.	*	*	*	*	*
% s.m.							
	N	P	K	Mg	Ca	S	Na
Kontrola	5,58 a	0,73 b	8,73 a	1,04	1,59 b	0,43	0,21 c
Fert. KIO ₃	5,64 a	0,67 a	9,22 b	1,07	1,46 a	0,41	0,16 a
Humistar	5,61 a	0,70 ab	9,03 b	1,05	1,54 b	0,42	0,20 c
Fert. KIO ₃ +Humistar	5,78 b	0,69 a	9,24 b	1,06	1,40 a	0,43	0,18 b
Test F	*	*	*	n.i.	*	n.i.	*
mg·kg ⁻¹ s.m.							
	I	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Kontrola	4,9 a	22,9 a	9,22	227,3 a	39,7 a	0,21 b	136,3 c
Fert. KIO ₃	62,8 b	23,2 a	8,85	310,3 c	41,0 ab	0,15 a	123,0 a
Humistar	4,6 a	22,5 a	9,01	272,6 b	39,2 a	0,18 ab	131,9 bc
Fert. KIO ₃ +Humistar	88,7 c	24,2 b	9,13	262,5 b	43,3 b	0,15 a	126,1 ab
Test F	*	*	n.i.	*	*	*	*
mg·100 g ⁻¹ św.m.							
	Szczawiany rozpuszczalne		Cukry rozpuszczalne		Związki fenolowe		Wolne Amino-kwasy
Kontrola	870,6		488,8		82,3		22,7 c
Fert. KIO ₃	877,0		400,0		84,6		20,3 b
Humistar	863,7		372,6		82,9		18,4 a
Fert. KIO ₃ +Humistar	810,7		455,6		83,5		24,6 d
Test F	n.i.		n.i.		n.i.		*

Objaśnienia:

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

3.2. WPŁYW JODU NA ROŚLINY

W badaniach Ujowundu i in. [2010] stosowanie wodnych roztworów KIO_3 (w stężeniu 10, 40, 80 $\mu\text{g dm}^{-3}$) w dwudniowych odstępach przez cztery tygodnie powodowało zwiększenie zawartości jodu w *Telfairia occidentalis*, *Talinum fruticosum* i *Cucurbita pepo*. W badaniach autorów tej pracy fertygacja roślin roztworem KIO_3 powodowała zwiększenie zawartości jodu oraz K, Fe w szpinaku w porównaniu z kontrolą. W roślinach tych stwierdzono również zmniejszenie zawartości suchej masy, NO_2^- , NH_4^+ , P, Ca, Na, Mo, Zn i wolnych aminokwasów w liściach.

Przesłanki merytoryczne wynikające z badań prowadzonych na mikroorganizmach i glonach morskich [Hung i in. 2005; Tsugonai i Sase 1969; Wong, Hung 2001] wskazują na hipotetyczny udział reduktazy azotanowej (NR – enzymu redukującego NO_3^- do NO_2^-) w redukcji IO_3^- do I⁻. Aktualnie brak jest bezpośrednich dowodów potwierdzających istnienie takich zależności u roślin wyższych. Wstępne wyniki badań przeprowadzonych przez Sekimoto [2009] wykazały jednak, że ta grupa roślin ma zdolność redukcji IO_3^- do I⁻, przy czym mechanizm tego procesu nie jest poznany. Hipotetycznie aplikacja egzogennej IO_3^- może ingerować w metabolizm azotu w roślinach poprzez osłabienie tempa redukcji azotanów do azotynów. W konsekwencji może mieć to wpływ na zmniejszenie puli redukowanego NO_2^- do NH_4^+ , a także obniżenie ilości syntetyzowanych aminokwasów w wyniku zmniejszenia poziomu włączania tego kationu do prostych związków organicznych w cyklu GS/GOGAT. W tym kontekście niezwykle trudnym do wytłumaczenia jest brak wpływu zastosowanego nawożenia IO_3^- poprzez fertygację (ciągłego stosowania tej formy jodu w niskich dawkach) na zawartość azotanów(V) (NO_3^-) i azotu ogółem przy jednoczesnym zmniejszeniu zawartości NO_2^- , NH_4^+ i wolnych aminokwasów w stosunku do roślin kontrolnych. Być może stężenie w glebie IO_3^- aplikowanego przez fertygację była zbyt niska, by w sposób znaczący wpłynąć na metabolizm azotu w szpinaku.

Fizjologiczne i biochemiczne mechanizmy oddziaływania jodu na pobieranie składników mineralnych przez rośliny. Wymienione mechanizmy oddziaływania jodu na pobieranie składników mineralnych przez rośliny nie jest rozpoznane. Wcześniejsze wyniki badań Smoleń i in. [2009]; Smoleń i Sady [2011] oraz Smoleń i in. [2011 a,b,c] wskazują, że jod może synergistycznie lub antagonistycznie wpływać na pobieranie składników pokarmowych przez rośliny. Jod stosowany przedsięwzię (w formie KI) w synergistyczny sposób wpłynął na pobieranie magnezu oraz ograniczył pobieranie miedzi – zależności te stwierdzono w uprawie wazonowej szpinaku oraz polowej uprawie sałaty i marchwi [Smoleń, Sady 2011; Smoleń i in. 2011 a,b]. Jod w formie KI powodował obniżenie zawartości fosforu w warzywach liściowych: szpinaku i sałacie [Smoleń i in. 2011a], zwiększał natomiast akumulację tego pierwiastka w korzeniach spichrzowych marchwi [Smoleń i in. 2011 b,c]. W tym kontekście warto przytoczyć wyniki badań Smoleń i Sady [2011] z wazonową uprawą szpinaku. Nawożenie jodem w formie KI w dawce 2 $\text{mg l} \cdot \text{dm}^{-3}$ gleby, w porównaniu do

nawożenia w dawce $1 \text{ mg l} \cdot \text{dm}^{-3}$ gleby, powodowało zwiększenie zawartości Na, Fe, Zn i Al oraz obniżenie poziomu P, S, Cu i Ba w szpinaku.

Podsumowując przedstawione wyniki badań oraz uwzględniając rezultaty wcześniejszych prac [Smoleń, Sady 2011; Smoleń i in. 2009, 2011 a,b,c], należy zauważyć, że oddziaływanie jodu na pobieranie makro- i mikrośladników pokarmowych (poza omówionymi P, Mg i Cu) oraz metali ciężkich i pierwiastków śladowych w roślinach może być uzależnione od wielu czynników, takich jak: fizykochemiczne właściwości gleby, oraz od formy, dawki i sposobu aplikacji jodu, warunków prowadzenia uprawy oraz różnic genotypowych (odmianowych) roślin w preferencji (zdolności) do pobierania poszczególnych składników mineralnych z gleby.

Kwasy humusowe. Przewidywana aplikacja egzogennych swoistych substancji humusowych w formie preparatu Humistar powodowała w porównaniu z roślinami kontrolnymi zwiększenie zawartości Cl⁻, K i Fe oraz zmniejszenie zawartości suchej masy, NO₃⁻ i NH₄⁺ w szpinaku.

Interakcja pomiędzy kwasami humusowymi i jodem. W kontekście omówionego oddziaływania osobno fertygacji KIO₃ oraz przewidzianej aplikacji Humistaru niezwykle interesująco przedstawiają się wyniki połączenia dogłębowego zastosowania Humistaru z nawadnianiem roślin roztworem IO₃⁻.

W porównaniu z kontrolą fertygacja KIO₃+Humistar powodowała zwiększenie zawartości N-ogółem, K, jodu, B, Fe, Mn i wolnych aminokwasów oraz zmniejszenie zawartości NH₄⁺, P, Ca, Na, Mo i Zn w szpinaku. Natomiast w stosunku do irygacji roślin roztworem KIO₃, połączenie fertygacji IO₃⁻ z przewidzianym stosowaniem Humistaru (KIO₃+Humistar) powodowało istotne zwiększenie zawartości suchej masy, NO₂⁻, N-ogółem, Na, jodu, B, wolnych aminokwasów oraz zmniejszenie zawartości Fe w roślinach.

Szczególnie interesujące jest podwyższenie akumulacji jodu w szpinaku w wyniku połączenia przewidzianej aplikacji Humistaru z fertygacją KIO₃ w stosunku do nawadniania roślin roztworem IO₃⁻. W tym zakresie wyniki badań wykazały specyficzną interakcję pomiędzy swoistymi substancjami próchnicznymi (kwasami fulwowymi i humusowymi) a jonami IO₃⁻. Najprawdopodobniej powodowana ona była reakcją któregoś ze związków zaliczanych do substancji próchnicznych z jodanem, wskutek czego mogły powstawać niskocząsteczkowe związki organiczne zawierające w swoim składzie ten pierwiastek. Chemiczne właściwości tych związków mogły usprawnić ich pobieranie przez korzenie w stosunku do wchłaniania wolnych jonów IO₃⁻. W tym kontekście interesujący jest fakt, że fertygacja KIO₃ powodowała zwiększenie zawartości Fe w szpinaku w większym stopniu niż aplikacja Humistaru czy też łączne zastosowanie KIO₃+Humistar. Jest to tym bardziej zastanawiające, że jod po wprowadzeniu do gleby ulega sorpcji z półoratlentkami Fe i Al [Muramatsu i in. 1990; Yoshida i in. 1992]. Do uzyskania niniejszych wyników mogły przyczynić się związki próchniczne, które mogły wiązać pewną pulę Fe w glebie, ułatwiając tym samym pobieranie IO₃⁻ przez rośliny z roztworów stosowanych do podlewania. Te organiczne połączenia egzogennych swoistych substancji z żelazem ułatwiały pobieranie Fe przez rośliny (kombinacja z Humi-

starem w porównaniu z kontrolą), lecz w mniejszym stopniu niż fertygacja KIO_3 . Być może w wyniku podlewania roślin roztworami o niskim stężeniu IO_3^- następowało w glebie formowanie specyjalnych połączeń żelaza z jodem (jako wynik reakcji IO_3^- z innymi formami Fe niż półtoratlenki), które mogły być łatwo pobierane przez rośliny.

4. WNIOSKI

1. Stwierdzono statystycznie istotny wpływ badanych kombinacji doglebowej przedsięwziętej aplikacji Humstaru oraz fertygacji roślin roztworem KIO_3 na zawartość: suchej masy, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , Cl, N-ogółem, P, K, Ca, Na, jodu, B, Fe, Mn, Mo, Zn i wolnych aminokwasów w szpinaku.
2. Nie wykazano wpływu badanych czynników na wielkość plonu, masę jednej rośliny oraz zawartość: Mg, S, Cu, szczawianów rozpuszczalnych, cukrów rozpuszczalnych i związków fenolowych w liściach.
3. W porównaniu z kontrolą zastosowanie samej irygacji roślin roztworem KIO_3 powodowało zwiększenie zawartości jodu, K, Fe oraz obniżenie suchej masy, NO_2^- , NH_4^+ , P, Ca, Na, Mo, Zn i wolnych aminokwasów w szpinaku.
4. Przedsięwzięte zastosowanie preparatu Humistar, w stosunku do roślin kontrolnych, wpłynęło na zwiększenie zawartości Cl, K i Fe oraz zmniejszenie zawartości suchej masy, NO_3^- i NH_4^+ w liściach.
5. Łączne zastosowanie fertygacji KIO_3 +Humistar powodowało: a) w porównaniu z kontrolą istotne zwiększenie zawartości N-ogółem, K, jodu, B, Fe, Mn i wolnych aminokwasów oraz zmniejszenie zawartości NH_4^+ , P, Ca, Na, Mo i Zn w szpinaku; b) w stosunku do fertygacji KIO_3 istotne zwiększenie zawartości suchej masy, NO_2^- , N-ogółem, Na, jodu, B, wolnych aminokwasów oraz obniżenie zawartości Fe w liściach roślin.

Praca finansowana w 2011 roku z dotacji celowej MNiSW na prowadzenie badań naukowych lub prac rozwojowych oraz zadań z nimi związanych, służących rozwojowi młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich UR w Krakowie.

PIŚMIENNICTWO I AKTY PRAWNE

- BREŚ W., GOLCZ A., KOMOSA A., KOZIK E., TYKSIŃSKI W. 2003. Nawożenie roślin ogrodnich. Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu.
- FUGE R., JOHNSON C.J. 1986. The geochemistry of iodine—a review. Environ. Geochem. Health 8 (2): 31–54.
- 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.

- 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.
- KORENMAN S. 1973. Analiza fotometryczna. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- MURAMATSU Y., UCHIDA S., SRIYOTHA P., SRIYOTHA K. 1990. Some considerations on the sorption and desorption phenomena of iodide and iodate on soil. *Water Air Soil Pollut.* 49: 125–138.
- MURAMATSU Y., YOSHIDA S., UCHIDA S. 1996. Iodine desorption from rice paddy soil. *Water, Air and Soil Poll.* 86: 359–371.
- NOWOSIELSKI O. 1988. Zasady opracowywania zaleceń nawozowych w ogrodnictwie. PWRiL, Warszawa.
- PASŁAWSKI P., MIGASZEWSKI Z.M. 2006. The quality of element determinations in plant materials by instrumental methods. *Polish J. Environ. Stud.* 15 (2a): 154–164.
- PERSSON J.Å., WENNERHOLM M. 1999. Poradnik mineralizacji Kjeldahla – przegląd metody klasycznej z ulepszeniami dokonany przez firmę FOSS TECATOR. Labconsult, Warszawa.
- PN-EN 15111 2008. Artykuły żywnościowe – Oznaczanie pierwiastków śladowych – Oznaczanie zawartości jodu metodą ICP MS (spektrometria masowa z plazmą wzbudzoną indukcyjnie). Polski Komitet Normalizacyjny.**
- PN-EN ISO 11732:2001. Jakość wody – Oznaczanie azotu amonowego metodą analizy przepływowej (CFA i FIA) z detekcją spektrometryczną.**
- PN-EN ISO 13395:2001. Jakość wody – Oznaczanie 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>.
- SMOLEŃ S., LEDWOŻYW I., STRZETELSKI P., SADY W., ROŻEK S. 2009. Wpływ nawożenia jodem i azotem na efektywność biofortyfikacji w jod oraz na jakość biologiczną marchwi. *Ochr. Środ. i Zas. Nat.* 40: 313–320.
- SMOLEŃ S., ROŻEK S., STRZETELSKI P., LEDWOŻYW I. 2011a. Preliminary evaluation of the influence of soil fertilization and foliar nutrition with iodine on the effectiveness of iodine biofortification and mineral composition of carrot. *J. Element.* 16 (1): 103–114.
- SMOLEŃ S., ROŻEK S., STRZETELSKI P., LEDWOŻYW I. 2011b. Preliminary evaluation of the influence of soil fertilization and foliar nutrition with iodine on the effectiveness of iodine biofortification and mineral composition of carrot. *J. Element.* 16 (1): 103–114.
- SMOLEŃ S., SADY W., ROŻEK S., LEDWOŻYW I., STRZETELSKI P. 2011c. Preliminary evaluation of the influence of iodine and nitrogen fertilization on the effectiveness of iodine biofortification and mineral composition of carrot storage roots. *J. Element.* 16 (2): 275–285.

- SMOLEŃ S., SADY W. 2011. Influence of iodine fertilization and soil application of sucrose on mineral composition of spinach plants. *Acta Scient. Polon. Hort. Cult. (w druku)*.
- SWAIN T., HILLIS W.E. 1959. Phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. quantitative analysis of phenolic constituents. *J. Sci. Food Agric.* 10: 63–71.
- TSUNOGAI S., SASE T. 1969. Formation of iodide-iodine in the ocean. *Deep-Sea Res.* 16: 489–496.
- UJOWUNDU C.O., UKOHA A.I., AGHA C.N., NWACHUKWU N., IGWE K.O., KALU F.N. 2010. Effects of potassium iodate application on the biomass and iodine concentration of selected indigenous Nigerian vegetables. *Afr. J. Biotechnol.* 9 (42): 7141–7147.
- WIERZBICKA E. 2004. Oznaczanie szczawianów rozpuszczalnych w wybranych użytkach. W: Toksykologia Żywności. Przewodnik do ćwiczeń. red. Brzozowska A. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- 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.
- 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* 2005. http://www.spring8.or.jp/pdf/en/res_fro/05/112-113.pdf.
- YEMM E.W., WILLIS A.J. 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by antrone. *Biochem. J.* 57: 508–514.
- YOSHIDA S., MURAMATSU Y., UCHIDA S. 1992. Studies on the sorption of I⁻ (iodide) and IO₃⁻ (iodate) onto andosols. *Water Air Soil Pollut.* 63: 321–329.