

Iwona Ledwożyw-Smoleń*, Sylwester Smoleń**, Stanisław Rożek*

**WPŁYW ZRÓŻNICOWANYCH SPOSOBÓW APLIKACJI KIO_3 NA
AKUMULACJĘ TEGO PIERWIASTKA ORAZ JAKOŚĆ ODŻYWCZĄ
SAŁATY UPRAWIANEJ W SYSTEMIE HYDROPONICZNYM**

**EFFECT OF VARIOUS METHODS OF KIO_3 APPLICATION ON
IODINE ACCUMULATION AND NUTRITIONAL VALUE OF LETTUCE
CULTIVATED IN HYDROPONICS**

Słowa kluczowe: jod, sałata, biofortyfikacja, jakość odżywcza, uprawa hydroponiczna.

Key words: iodine, lettuce, biofortification, nutritional quality, hydroponics.

*The aim of the study was to evaluate the effect of iodate application (IO_3^-) on the effectiveness of iodine biofortification and nutritional value of lettuce (*Lactuca sativa* L.) 'Melodion' cv. grown in hydroponics. A one-year study was conducted in a foil-tunnel in a two-factor design including sub-blocks without foliar application of iodine and with two-time foliar spraying with 0,05% solution of KIO_3 . In each sub-block, combinations with 0, 1 and 10 mg l-dm⁻³ concentration of KIO_3 in nutrient solution were distinguished. Increased iodine content in lettuce heads (the effect of biofortification) was found in all tested combinations with 1 application – to a greater extent by foliar spraying rather than its introduction to nutrient solution.*

The highest accumulation of this element was noted in lettuce grown in the solution with 10 mg l-dm⁻³ and sprayed with iodine. However, these plants contained the lowest level of free amino acids among all tested combinations. Depending on KIO_3 concentration in nutrient solution, a diverse effect of foliar nutrition with iodine was found with reference to the content of: dry matter, soluble sugars, ascorbic acid and free amino acids in lettuce heads. A significant increase in the level of phenolic compounds was obtained in lettuce grown in nutrient solution containing 10 mg l-dm⁻³.

* *Mgr inż. Iwona Ledwożyw-Smoleń, prof. dr hab. Stanisław Rożek – Katedra Botaniki i 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*

** *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*

Foliar application of KIO_3 led to diminished content of: dry matter, soluble sugars, ascorbic acid and free amino acids in lettuce cultivated in the solution with addition of 1 and 10 mg $l^{-1}dm^{-3}$. Foliar nutrition with IO_3^- did not affect the level of these compounds in lettuce grown in the control solution (without I) – except of reducing ascorbic acid content.

1. WPROWADZENIE

Jod jest ważnym mikroskładnikiem pokarmowym niezbędnym do prawidłowego wzrostu i rozwoju człowieka oraz zwierząt (zwłaszcza ssaków). Kluczowa rola tego pierwiastka przejawia się w funkcjonowaniu tarczycy – jod jest składnikiem hormonów: tyroksyny (T4) i trójiodotyroniny (T3), produkowanych przez ten gruczoł. Niedobór jodu prowadzi do wielu zaburzeń w organizmie, spośród których należy wymienić dysfunkcję tarczycy (zwiększenie ryzyka nowotworów, powstawanie wola) oraz nieprawidłowy rozwój cewy nerwowej i mózgu w okresie prenatalnym i niemowlęcym.

Około 1,9 miliarda ludzi na świecie, w tym 285 mln dzieci, spożywa pokarm o zbyt niskiej zawartości jodu. Około 1 miliarda tych ludzi cierpi z powodu wola endemicznego. Częstość występowania niedoboru jodu jest najmniejsza w Ameryce – 10,1%, największa natomiast w Europie – 59,9% [de Benoist i in. 2003; Delange i in. 1997]. W celu ograniczenia niedoboru jodu w Polsce i wielu krajach prowadzi się suplementację diety w ten pierwiastek przez jodowanie soli kuchennej. Jest to skuteczny sposób introdukcji jodu do organizmu człowieka, zwłaszcza w krajach rozwiniętych z dostateczną podażą soli jodowanej. Należy jednak zwrócić uwagę, że zgodnie z zaleceniami Światowej Organizacji Zdrowia konieczne jest ograniczenie spożycia soli jako czynnika ryzyka nadciśnienia tętniczego, miażdżycy oraz niektórych chorób nowotworowych [WHO 2007]. Między innymi ze względu na wysokie koszty leczenia tych chorób WHO zaplanowała na lata 2008–2013 realizację programu „Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health”, obejmującego zagadnienia związane z ograniczeniem spożycia soli kuchennej, przy jednoczesnym poszukiwaniu alternatywnych sposobów wprowadzenia jodu do diety człowieka. Naturalnym sposobem zapewnienia odpowiedniego poziomu podaży tego pierwiastka w diecie człowieka może być biofortyfikacja (wzbogacanie) roślin w jod [Strzetelski 2005; White, Bradley 2005; 2009; Yang i in. 2007].

Jod nie jest składnikiem pokarmowym roślin. Stosunkowo niewiele wiadomo na temat jego wpływu na przebieg procesów fizjologicznych i biochemicznych roślin. Z tego powodu wdrożenie agrotechnicznych zasad biofortyfikacji w ten pierwiastek wymaga przeprowadzenia kompleksowych badań, uwzględniających oddziaływanie jodu na wzrost, rozwój oraz procesy fizjologiczne i biochemiczne zachodzące w roślinach.

Celem pracy było określenie wpływu zróżnicowanego stężenia i sposobów aplikacji jodu w formie jodanowej (IO_3^-) na efektywność biofortyfikacji oraz wielkość i jakość biologiczną plonu sałaty.

2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Salatę siewną (*Lactuca sativa*) 'Melodion' uprawiano w sezonie wiosennym roku 2010 w systemie cienkowieńskich kultur przepływowych (CKP) umieszczonych w nieogrzewanym tunelu foliowym. Nasiona wysiano w szklarni 1 marca 2010 r. Wysadzenie rozsady do rynien uprawowych, w rozstawie co 25 cm, przeprowadzono 30 marca 2010 r. Na każdy obiekt doświadczalny (jedną rynnę uprawową) przypadało 12 roślin salaty. Uprawę prowadzono na pożywce standardowej o składzie (w $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ pożywki): N 150, P 50, K 200, Mg 40, Ca 120, S 90, Cl 30. Mikroelementy wprowadzono do pożywki w postaci nawozu Pionier Mikro, w dawce $0,08\text{ ml}\cdot\text{dm}^{-3}$. Odczyn pożywki do pH 6,0 doprowadzono za pomocą 65% HNO_3 . EC pożywki (przewodność właściwa) wynosiła $1,6\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Doświadczenie założono w układzie dwuczynnikowym, w którym wyróżniono dwa podbloki z dwukrotnym dokarmianiem dolistnym roślin roztworem KIO_3 , o stężeniu jodu 0% (podblok bez dokarmiania dolistnego – oprysk wodą), i o stężeniu 0,05% jodu (podblok z dolistnym dokarmianiem jodem). Po osiągnięciu przez rośliny stadium rozety (10–12 liści właściwych) w każdym podbloku do pożywki wprowadzono jod w formie KIO_3 w dawce 0; 1,0 i 10 $\text{mg l}\cdot\text{dm}^{-3}$. Oprysk wodą (0% I) i roztworem 0,05% I przeprowadzono 28 kwietnia 2010 r. (7 dni po wprowadzeniu jodu do pożywki) oraz 05 maja 2010 r. (6 dni przed zbiorem roślin). Wydatek cieczy roboczej wynosił około $100\text{ ml}\cdot\text{m}^{-2}$. Zbiór roślin połączony z oceną plonowania przeprowadzono 11 maja 2010 r. Wyniki dotyczące plonowania będą przedmiotem osobnej publikacji.

W główkach salaty oznaczono zawartości: suchej masy metodą suszarkową w $105\text{ }^\circ\text{C}$, cukrów rozpuszczalnych metodą antronową [Yemm, Wills 1954], związków fenolowych z odczynnikiem Folina [Swain i Hillis 1959], kwasu askorbinowego metodą Tillmansa [Samotus i in. 1982] oraz wolnych aminokwasów w reakcji z ninhydryną [Korenman 1973]. Poziom jodu w salacie oznaczono techniką ICP-OES, po inkubacji prób z 25% TMAH [PN-EN 15111 – 2008], przy użyciu spektrometru wysokiej rozdzielczości – Prodigy Teledyne Leeman Labs.

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. Uzyskane wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w tabeli 1.

3. WYNIKI

Interakcja pomiędzy czynnikami badań. Stwierdzono statystycznie istotną interakcję pomiędzy stężeniem jodu w pożywce a dokarmianiem dolistnym tym pierwiastkiem w zakresie zawartości jodu, suchej masy, cukrów rozpuszczalnych, kwasu askorbinowego i wolnych aminokwasów w salacie.

W zakresie możliwości biofortyfikacji roślin w jod przez zastosowanie formy IO_3^- dokarmianie dolistne okazało się skuteczniejszym sposobem introdukcji tego pierwiastka do sa-

łaty niż aplikacja poprzez pożywkę. Szczególnie wyraźnie uwidoczniło się to na przykładzie roślin kontrolnych w podbloku dokarmianym dolistnie, w których zawartość jodu była większa niż w główkach sałaty dokarmianej dolistnie i uprawianej na pożywce zawierającej 1 mg l-dm^{-3} . Należy podkreślić, że procentowe zwiększenie zawartości jodu w sałacie wskutek dokarmiania dolistnego KIO_3 wyniosło 31 075%, 1 248% i 187%, – odpowiednio w roślinach uprawianych na pożywkach zawierających 0; 1,0 i 10 mg l-dm^{-3} pożywki.

Tabela 1. Wpływ aplikacji KIO_3 na efektywność biofortyfikacji roślin w jod oraz zawartość suchej masy, cukrów rozpuszczalnych, związków fenolowych, kwasu askorbinowego i związków fenolowych w główkach sałaty

Table 1. Effect of KIO_3 application on the effectiveness of iodine biofortification as well as the content of: dry mass, soluble sugars, phenolic compounds, ascorbic acid and free amino acids in lettuce heads

Dokarmianie dolistne	Pożywka	Jod, $\text{mg l}\cdot\text{kg}^{-1}$ św.m.	% s.m.	Cukry rozpuszczalne	Związki fenolowe	Kwas askorbinowy	Wolne aminokwasy
Bez dokarmiania	kontrola ($0 \text{ mg l}\cdot\text{dm}^{-3}$)	0,12 a	4,06 b	483,4 b	21,48	2,25 c	30,03 b
	KIO_3 ($1 \text{ mg l}\cdot\text{dm}^{-3}$)	2,00 b	3,95 b	637,7 c	18,52	3,41 d	36,97 d
	KIO_3 ($10 \text{ mg l}\cdot\text{dm}^{-3}$)	17,23 c	5,08 d	830,2 d	29,64	3,25 d	34,37 c
0,05% KIO_3	Kontrola ($0 \text{ mg l}\cdot\text{dm}^{-3}$)	37,41 e	4,03 b	427,4 ab	21,54	1,82 a	31,42 b
	KIO_3 ($1 \text{ mg l}\cdot\text{dm}^{-3}$)	26,96 d	3,63 a	383,6 a	23,72	2,09 bc	33,91 c
	KIO_3 ($10 \text{ mg l}\cdot\text{dm}^{-3}$)	49,64 f	4,95 c	608,0 c	29,58	1,87 ab	24,16 a
Test F dla interakcji dokarmianie dolistne \times pożywka		*	*	*	n.i.	*	*
Średnie dla dokarmiania dolistnego							
Bez dokarmiania		6,45 a	4,36 b	650,5 b	23,21	2,97 b	33,79 b
0,05% KIO_3		38,00 b	4,20 a	473,0 a	24,95	1,93 a	29,83 a
Test F dla dokarmiania dolistnego		*	*	*	n.i.	*	*
Średnie dla stężenia jodu w pożywce							
Kontrola ($0 \text{ mg l}\cdot\text{dm}^{-3}$)		18,77 b	4,04 b	455,4 a	21,51 a	2,04 a	30,72 a
KIO_3 ($1 \text{ mg l}\cdot\text{dm}^{-3}$)		14,48 a	3,79 a	510,7 b	21,12 a	2,75 c	35,44 b
KIO_3 ($10 \text{ mg l}\cdot\text{dm}^{-3}$)		33,43 c	5,02 c	719,1 c	29,61 b	2,56 b	29,27 a
Test F dla pożywki		*	*	*	*	*	*

Objaśnienia:

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

Warto zauważyć, że dolistna aplikacja jodu na roślinach kontrolnych (w stosunku do tych samych roślin niedokarmianych dolistnie) powodowała zmniejszenie zawartości kwasu askorbinowego, nie miała natomiast wpływu na zawartość suchej masy, cukrów rozpuszczalnych i wolnych aminokwasów w sałacie. Odmiennie rezultaty – pogarszające jakość biologiczną plonu – uzyskano przy dolistnym dokarmianiu jodem roślin uprawianych na po-

żywce zawierającej 1,0 i 10 mg l-dm⁻³ pożywki. W tych obiektach zabieg ten spowodował istotne zmniejszenie zawartości cukrów rozpuszczalnych, kwasu askorbinowego i wolnych aminokwasów w porównaniu do roślin w podbloku niedokarmianym dolistnie. Należy podkreślić, że dolistna aplikacja jodu spowodowała istotne zwiększenie zawartości suchej masy w roślinach uprawianych przy najwyższym stężeniu jodu w pożywce w stosunku do porównawczej kombinacji z podbloku bez dolistnej aplikacji jodu.

Interesujące zależności obserwowano w podbloku bez dokarmiania dolistnego jodem. W porównaniu z kontrolą odnotowano istotne zwiększenie zawartości cukrów rozpuszczalnych, kwasu askorbinowego i wolnych aminokwasów w sałacie wskutek wprowadzenia jodu do pożywki w obu stężeniach. W tym podbloku największa zawartość suchej masy i cukrów rozpuszczalnych stwierdzono w główkach roślin uprawianych na pożywce zawierającej 10 mg l-dm⁻³ pożywki, a wolnych aminokwasów w liściach roślin rosnących na pożywce z mniejszą zawartością jodu. Rośliny sałaty bez dolistnego dokarmiania jodem uprawiane przy 1,0 i 10 mg l-dm⁻³ pożywki zawierały istotnie więcej kwasu askorbinowego niż rośliny kontrolne.

Dokarmianie dolistne. Biorąc pod uwagę wpływ samego dokarmiania dolistnego jodem, niezależnie od stężenia tego składnika w pożywce, należy stwierdzić, że zabieg ten powodował istotny wzrost akumulacji jodu oraz zmniejszenie zawartości suchej masy, cukrów rozpuszczalnych, kwasu askorbinowego i wolnych aminokwasów w sałacie. Nie stwierdzono natomiast wpływu dolistnej aplikacji jodu na zawartość związków fenolowych w główkach sałaty.

Zawartość jodu w pożywce. Interesująco kształtują się wyniki badań uwzględniające wpływ aplikacji jodu poprzez pożywkę – przedstawione jako średnie arytmetyczne z obydwu podbloków dla określonego stężenia jodu w roztworach pożywki. W porównaniu do kontroli rośliny uprawiane przy stężeniu 1,0 mg l-dm⁻³ w pożywce zawierały istotnie więcej cukrów rozpuszczalnych, kwasu askorbinowego i wolnych aminokwasów, mniej natomiast jodu i suchej masy. W roślinach rosnących przy większym stężeniu jodu w pożywce (10 mg l-dm⁻³) stwierdzono istotnie większą zawartość jodu, suchej masy, cukrów rozpuszczalnych i kwasu askorbinowego oraz niższy poziom związków fenolowych w stosunku do kontroli.

Przedstawione zależności nie odzwierciedlają jednak pełnego oddziaływania jodu w formie IO₃⁻, aplikowanego poprzez pożywkę na rośliny sałaty, ponieważ uzyskane dane w dużym stopniu były modyfikowane przez dolistną aplikację tej formy jodu, omówioną poprzednio interakcją obydwu badanych czynników.

4. Dyskusja

Nawożenie roślin wysokimi dawkami jodu może powodować uszkodzenia roślin w wyniku toksycznego działania tego pierwiastka. Stosowanie zbyt dużych dawek jodu wpływa na zmniejszenie biomasy, pojawienie się chloroz liści, a przy przekroczeniu toksycznych stężeń – zmian nekrotycznych liści lub zamierania całych roślin [Hong i in. 2009; Mackowiak; Grossl 1999; Mackowiak i in. 2005, Smith; Middleton 1982].

Badania licznych autorów [Gonda i in. 2007; Mackowiak; Grossl 1999; Zhu i in. 2003] wykazały, że forma IO_3^- jest mniej szkodliwa (toksyczna) dla roślin niż forma jodkowa I^- . W naszych badaniach istotne zmniejszenie masy główek sałaty stwierdzono tylko w roślinach rosnących na pożywce zawierającej $10 \text{ mg } I\text{-dm}^{-3}$. Rośliny te nie wykazywały jednak opisanych wyżej symptomów toksycznego oddziaływania jodu (dane nieprezentowane).

Należy wspomnieć, że równoległe z badaniami przedstawionymi w niniejszej pracy przeprowadzono doświadczenie wegetacyjne w podobnym układzie czynników, lecz z zastosowaniem KI jako źródła jodu [Ledwożyw-Smoleń i in. 2011]. W tych badaniach nawożenie jodem poprzez pożywkę w zdecydowanie silniejszym stopniu wpłynęło na zahamowanie wzrostu roślin. Wraz ze zwiększeniem zawartości w pożywce jodu w formie I^- (0 ; $1,0$ i $10 \text{ mg } I\text{-dm}^{-3}$) odnotowano obniżenie masy główek sałaty, a rośliny rosnące na pożywce z najwyższą zawartością tego pierwiastka były w znaczącym stopniu uszkodzone przez jod.

Wyraźnie większą efektywność biofortyfikacji liści sałaty w jod przez dwukrotną dolistną aplikację tego pierwiastka w formie IO_3^- niż przez jego introdukcję do pożywki w fazie rozety można tłumaczyć małą zdolnością roślin do pobierania jonów jodanowych przez korzenie. Zasadniczo większość gatunków roślin zdecydowanie łatwiej pobiera przez system korzeniowy (z gleby lub pożywek w uprawach hydroponicznych) jod w formie I^- niż IO_3^- . Zależności te stwierdzono w badaniach z uprawą gryki, lnu, jęczmienia, owsa, życicy trwałej, białej koniczyny, gorczyca, pomidorów, szpinaku, kalarepy i buraków [Borst-Pauwels 1961], traw [Smith i in. 1999], ryżu [Mackowiak, Grossl 1999], pomidora i szpinaku [Gonda i in. 2007], szpinaku [Zhu i in. 2003]. Nieliczni autorzy [Böszörményi i Cseh 1960] wskazują, że mniejsze tempo pobierania jodu w formie IO_3^- niż I^- powodowane jest redukcją jodanu do jodku przed pobraniem tego pierwiastka przez korzenie. Należy zaznaczyć, że w badaniach autorów ograniczono się jedynie do oznaczenia całkowitej zawartości jodu w główkach roślin. Nie badano natomiast pożywek i prób materiału roślinnego (liści i korzeni) pod względem ewentualnych specyjalnych przemian zastosowanej jodanowej formy jodu – potencjalnej redukcji IO_3^- do I^- . Z tego powodu nie można stwierdzić na ile wykazane zwiększenie zawartości jodu w główkach sałaty nawożonej KIO_3 przez pożywkę (w podbloku niedokarmianym dolistnie) wynikało z bezpośredniego pobrania IO_3^- przez korzenie (następnie transportowania jodu do liści), czy też z wcześniejszej redukcji tego jonu do I^- w pożywce i/lub korzeniach sałaty. W tym kontekście należy wspomnieć, że istnieją wyniki badań wskazujące na hipotetyczny udział reduktazy azotanowej (NR – enzymu redukującego NO_3^- do NO_2^-) w redukcji IO_3^- do I^- [Hung i in. 2005; Tsugonai i Sase 1969; Wong, Hung 2001]. Badania te przeprowadzono na mikroorganizmach i glonach morskich. Aktualnie brak jest jednoznacznych naukowych dowodów wskazujących na bezpośrednie zaangażowanie NR w redukcję jodanu do jodku w roślinach wyższych. Przyczynkowe wyniki badań Sekimoto [2009] wykazały, że grupa roślin wyższych ma zdolność redukcji IO_3^- do I^- , ale mechanizm tego procesu nie jest do końca poznany. Zatem teoretycznie rzecz ujmując, egzogenny IO_3^- może osłabiać metabolizm azotu w roślinach na etapie redukcji azotanów do azotynów, a w konsekwencji

wpływać na redukcję NO_2^- do NH_4^+ . W dalszym etapie, poprzez inkorporację tego kationu do prostych związków organicznych w cyklu GS/GOGAT, może wpływać na ilość syntetyzowanych aminokwasów.

W prezentowanych w niniejszym opracowaniu wynikach badań ta hipoteza znalazła w pewnym stopniu potwierdzenie w zakresie dolistnej aplikacji KIO_3 roślinom sałaty uprawianych na pożywkach z dodatkiem jodu. Zwiększenie stężenia jodu (zwłaszcza formy IO_3^- aplikowanej dolistnie) powodowało w tych roślinach znaczące zmniejszenie zawartości wolnych aminokwasów – w szczególności dotyczyło to roślin uprawianych na pożywce zawierającej 10 mg l-dm^{-3} pożywki. W tym kontekście trudno jest zinterpretować stosunkowo niewielkie zwiększenie zawartości wolnych aminokwasów w liściach roślin uprawianych na pożywkach zawierających jod w podbloku bez dolistnej aplikacji KIO_3 . Być może wynika to ze złożoności oddziaływania niskich i wysokich stężeń jodu na fizjologiczne, biochemiczne i molekularne mechanizmy roślin odpowiedzialne za metabolizm jodu i azotu w roślinach.

Uzyskane w prezentowanych w niniejszym opracowaniu badaniach wyniki pozwalają przypuszczać, że przy wysokich stężeniach IO_3^- w pożywce bądź też przy dolistnej aplikacji jodanowa forma jodu może w pewnym stopniu ingerować w przebieg szlaków metabolicznych azotu. Wyniki badań wskazują, że zastosowanie jodanowej formy jodu w uprawie hydroponicznej poprzez dolistną aplikację w stężeniu $0,05\% \text{ I}$ (roślin nienawożonych I przez pożywkę) lub introdukcję IO_3^- do pożywki w koncentracji 1 mg l-dm^{-3} pożywki pozwala na wzbogacenie roślin sałaty w ten pierwiastek bez negatywnego wpływu na wielkość (dane niepublikowane) i jakość biologiczną plonu. Konfrontując wyniki badań przedstawionych w tym opracowaniu z rezultatami uzyskanymi we wspomnianym wcześniej doświadczeniu z zastosowaniem I [Ledwożyw-Smoleń i in. 2011], można stwierdzić, że biofortyfikację sałaty uprawianej w hydroponice w jod przez zabieg dokarmiania dolistnego lub aplikację przez pożywkę korzystniej jest prowadzić przy zastosowaniu formy jodanowej niż jodkowej.

5. WNIOSKI

1. Stwierdzono statystycznie istotny wpływ interakcji dokarmiania dolistnego \times stężenie jodu w pożywce na zawartość jodu, suchej masy, cukrów rozpuszczalnych, związków fenolowych, kwasu askorbinowego i wolnych aminokwasów w sałacie.
2. Dwukrotna dolistna aplikacja IO_3^- , zwłaszcza u roślin kontrolnych, była skuteczniejszym sposobem wzbogacania sałaty w jod niż wprowadzenie tej formy jodu do pożywki. Wzrost zawartości jodu w roślinach dokarmianych dolistnie KIO_3 wyniósł odpowiednio dla roślin uprawianych na pożywkach zawierających $0, 1,0$ i 10 mg l-dm^{-3} pożywki: 31075% , 1248% i 187% .
3. Dokarmianie dolistne jodem roślin uprawianych na pożywce zawierającej $1,0$ oraz 10 mg l-dm^{-3} spowodowało istotne zmniejszenie zawartości cukrów rozpuszczalnych, kwasu askorbinowego i wolnych aminokwasów w główkach roślin.

4. W podbloku niedokarmianym dolistnie introdukcja jodu do pożywki (w stężeniach 1,0 oraz 10 mg l-dm⁻³) wpłynęła na istotne w porównaniu z kontrolą zwiększenie zawartości w sałacie cukrów rozpuszczalnych, kwasu askorbinowego i wolnych aminokwasów.
5. Sam zabieg dokarmiania dolistnego, analizowany niezależnie od stężenia jodu w pożywce (porównanie średnich dla trzech obiektów z obydwu podbłoków), powodował istotne zwiększenie akumulacji jodu oraz zmniejszenie zawartości suchej masy, cukrów rozpuszczalnych, kwasu askorbinowego i wolnych aminokwasów w sałacie.
6. Stwierdzono istotny wpływ stężeń jodu pożywce (analizowanych jako średnie arytmetyczne wyników z porównawczych obiektów w obydwu podbłokach) na wszystkie uwzględnione w badaniach oznaczenia składu chemicznego roślin sałaty – jednak uzyskane dane w znacznym stopniu modyfikowane były dolistną aplikacją KIO_3 .

Badania finansowane ze środków uzyskanych w 2011 r. w ramach „Uczelnianego konkursu na projekty finansowane z dotacji celowej MNiSW na prowadzenie badań naukowych lub prac rozwojowych oraz zadań z nimi związanych, służących rozwojowi młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich”.

PIŚMIENNICTWO I AKTY PRAWNE

- BORST-PAUWELS G.W.F.H. 1961. Iodine as a micronutrient for plants. *Plant Soil* 14 (4): 377–392.
- BÖSZÖRMÉNYI Z., CSEH E. 1960. The uptake and reduction of iodate by wheat roots. *Curr. Sci.* 29: 340–341.
- De BENOIST B., ANDERSSON M., TAKKOUICHE B., EGLI I. 2003. Prevalence of iodine deficiency worldwide. *Lancet* 362: 1859–1860.
- DELANGE F., BENKER G., CARON P., EBER O., OTT W., PETER F., PODOBA J., SIMESCU M., SZYBINSKY Z., VERTONGEN F., VITTI P., WIERSINGA W., ZAMRAZIL V. 1997. Thyroid volume and urinary iodine in European schoolchildren: standardization of values for assessment of iodine deficiency. *Eur. J. Endocrinol.* 136: 180–187.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- PN-EN 15111 – 2008. Artykuły żywnościowe – Oznaczanie pierwiastków śladowych – Oznaczanie zawartości jodu metodą ICP MS (spektrometria masowa z plazmą wzbudzoną indukcyjnie). Polski Komitet Normalizacyjny.**
- 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.
- 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>.
- 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.
- STRZETELSKI P. 2005. Występowanie i przemieszczanie jodu w systemie gleba-roślina. *Post. Nauk Roln.* 6: 85–100.
- 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.
- 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.
- WHO. 2007. Reducing salt intake in populations. Report of a WHO Forum and Technical Meeting. Geneva, World Health Organization.
- 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.
- 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.
- 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.