

ZBIGNIEW JAROSZ

Katedra Uprawy i Nawożenia Roślin Ogrodniczych
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

WPLYW ZRÓŻNICOWANYCH DAWEK KRZEMU I MANGANU NA WIELKOŚĆ ORAZ SKŁAD CHEMICZNY GŁÓWEK SAŁATY

THE EFFECT OF DIFFERENT DOSES OF SILICON AND MANGANESE
ON THE SIZE AND CHEMICAL COMPOSITION OF LETTUCE HEADS

Streszczenie. W licznych badaniach potwierdzono pozytywny wpływ stosowania krzemu w uprawie, chociaż doniesienia dotyczące oddziaływania tego pierwiastka na skład chemiczny roślin są rozbieżne. Niejednoznaczne są również wyniki badań dotyczących wpływu stosowania krzemu na pobieranie manganu, który w nadmiarze może być silnie toksyczny dla roślin. Badania przeprowadzone w latach 2009-2010 miały na celu określenie wpływu dokorzeniowego stosowania krzemu (0, 250, 500 lub 750 mg·dm⁻³) i manganu (5,2 lub 52,0 mg·dm⁻³) na wielkość i skład chemiczny główek sałaty odmiany 'Omega F₁' uprawianej w szklarni. Dwuczynnikowe doświadczenie przeprowadzono w układzie kompletnie zrandomizowanym. Rośliny uprawiano w doniczkach o pojemności 2 dm³ napełnionych podłożem torfowym o pH 6,5. W badaniach odnotowano istotnie większą masę główek oraz większą zawartość suchej masy u roślin żywionych krzemem w dawce 250 mg·dm⁻³ w porównaniu z obiektami kontrolnymi, w których nie stosowano krzemu. W ocenie niezależnej od stosowania krzemu wykazano istotny wzrost masy jednostkowej główek sałaty nawożonej manganem w dawce 52,0 mg·dm⁻³ w porównaniu z obiektami nawożonymi dawką 5,2 mg·dm⁻³. Sałata żywiona krzemem w ilości 750 mg·dm⁻³ zawierała istotnie więcej fosforu i potasu oraz mniej manganu w porównaniu z roślinami kontrolnymi, w których uprawie nie stosowano tego pierwiastka.

Słowa kluczowe: Si, Mn, sucha masa, kwas L-askorbinowy, makroelementy, mikroelementy

Wstęp

Liczne badania dowodzą, iż żywienie krzemem korzystnie wpływa na plonowanie roślin oraz poprawia główne parametry jakościowe części użytkowych (Górecki i Da-

nielski-Busch, 2009; Hogendorp, 2008; Jarosz, 2013). Dokorzeniowe stosowanie krzemu istotnie wpływa również na pobieranie i przemieszczanie składników pokarmowych w roślinach. Wyniki badań dotyczących interakcji pomiędzy krzemem a składnikami pokarmowymi, zarówno w ryzosferze, jak i w roślinie, są niejednoznaczne, a często nawet bywają sprzeczne (Datnoff i in., red., 2001; Jarosz, 2013; Ma i Takahashi, 2002; Sacała, 2009).

Mangan jest mikroskładnikiem pokarmowym niezbędnym do prawidłowego funkcjonowania organizmów roślinnych, jednak jego nadmiar może być silnie fitotoksyczny (Dragišić Maksimović i in., 2012). Zdaniem Marschnera (1995) toksyczny nadmiar manganu jest jednym z głównych czynników limitujących wzrost i rozwój roślin, zwłaszcza w warunkach niedotlenienia lub nadmiernego zakwaszenia środowiska korzeniowego. Pobieranie manganu przez rośliny jest uwarunkowane wieloma czynnikami, z których najważniejszymi są wymagania gatunkowe, aktualny odczyn i wilgotność podłoża, forma pierwiastka i jego zawartość w środowisku korzeniowym, jak również zawartość innych składników pokarmowych (Kozik i in., 2008). Zdaniem Aschner i Aschnera (2005) nadmiar manganu może być również szkodliwy dla organizmu ludzkiego – kumulując się w ośrodkowym układzie nerwowym, powoduje niekorzystne zmiany neurologiczne. Biorąc pod uwagę fakt, iż głównym źródłem manganu dla człowieka są spożywane produkty roślinne, wydaje się celowe poszukiwanie sposobów ograniczenia jego pobierania przez rośliny uprawiane w warunkach sprzyjających jego kumulacji.

Celem podjętych badań było określenie wpływu zróżnicowanych dawek krzemu i manganu na wielkość i skład chemiczny główek sałaty.

Material i metody

Badania z sałatą (*Lactuca sativa* var. *capitata*) odmiany ‘Omega F₁’ wykonywano w szklarni od 11 marca do 16 kwietnia 2009 roku oraz od 25 marca do 26 kwietnia 2010 roku. Rośliny uprawiano w doniczkach o pojemności 2 dm³ napełnionych podłożem torfowym o pH 6,5. Dwuczynnikowe doświadczenie założono w układzie kompletnie zrandomizowanym w 10 powtórzeniach. Powtórzenie stanowiła doniczka z jedną rośliną. W badaniach zastosowano zróżnicowane nawożenie krzemem: 0, 250, 500 lub 750 mg·dm⁻³ oraz manganem: 5,20 mg·dm⁻³ (dawka I) lub 52,0 mg·dm⁻³ (dawka II). Krzem i mangan zastosowano do podłoża jednorazowo przy zakładaniu doświadczenia w postaci wodnego roztworu krzemionki koloidalnej oraz siarczanu manganu (MnSO₄ · 5H₂O). Pozostałe składniki pokarmowe stosowano w tej samej ilości dla wszystkich roślin w czterech równych dawkach z użyciem następujących nawozów mineralnych: Nutrifol zielony, saletra potasowa, saletra wapniowa, siarczan magnezu. W sumie pod każdą rośliną zastosowano 400 mg·dm⁻³ N, 200 mg·dm⁻³ P, 560 mg·dm⁻³ K, 300 mg·dm⁻³ Mg. Zawartość składników pokarmowych w podłożu utrzymywano w trakcie badań w przedziałach (mg·dm⁻³): 77,0-98,8 N-NH₄, 224,1-278,5 N-NO₃, 162,3-256,8 P-PO₄, 245,7-428,3 K, 712,6-928,4 Ca, 145,0-167,5 Mg, 169, 0-275,4 S-SO₄. Odczyn podłoża (pH_{H₂O}) w trakcie badań utrzymywano w zakresie 5,96-6,35.

Rośliny zebrano po osiągnięciu dojrzałości zbiorczej, określając masę jednostkową główek. W świeżym materiale oznaczono zawartość suchej masy metodą wagową (PN-

-90/A-75101/03 1990, 1990) i kwasu L-askorbinowego metodą Tillmansa (PN-A-04019 1998, 1998). Po wysuszeniu materiału (temp. 105°C) oznaczono azot ogółem metodą Kjeldahla (Ostrowska i in., 1991). Po mineralizacji materiału w mieszaninie kwasów azotowego i nadchlorowego w proporcji v:v 3:1 (Ostrowska i in., 1991) oznaczono fosfor kolorymetrycznie z wanadomolibdenianem amonu (Thermo, Evolution 300) oraz potas, wapń, magnez, żelazo, mangan, cynk i miedź metodą ASA (Perkin-Elmer, Analyst 300).

Opracowanie statystyczne wyników wykonano metodą analizy wariancji z użyciem programu ArtStart. Do oceny różnic zastosowano test Tukeya, na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Wyniki i dyskusja

Efektywność stosowania krzemu w uprawie roślin jest ściśle uzależniona od źródła tego pierwiastka, jak i od uprawianego gatunku (Datnoff i in., red., 2001). Żywienie roślin krzemem jest szczególnie uzasadnione w uprawach bezglebowych, w których system korzeniowy jest odizolowany od naturalnego źródła ortokrzemianów, jakim jest gleba. Zdaniem Sonnevelda i Voogta (2009), brak suplementacji krzemem w uprawach bezglebowych sprawia, iż całkowita zawartość tego pierwiastka w ryzosferze spada do poziomu poniżej 10 ppm, co jest ilością niewystarczającą nawet dla gatunków o małym powinowactwie do krzemu.

Analiza wyników uzyskanych w badaniach wykazała istotne zróżnicowanie masy jednostkowej główek sałaty w zależności od badanych czynników (tab. 1). Średnia masa główek u roślin żywionych krzemem w dawce 250 mg·dm⁻³ była istotnie większa – o 8,63% – w porównaniu z roślinami kontrolnymi, którym nie dostarczano krzemu dokorzeniowo. Wyniki te są zgodne z doniesieniami innych autorów, którzy potwierdzają korzystny wpływ stosowania krzemu na plonowanie sałaty (Bacchus 2010; Resende i in., 2007; Voogt i Sonneveld, 2001). W obiektach żywionych krzemem w dawkach 500 i 750 mg·dm⁻³ również stwierdzono większą masę główek sałaty (odpowiednio o 288,9 i o 293,4 g) w porównaniu z roślinami kontrolnymi (279,0 g), jednak różnice te nie zostały potwierdzone statystycznie. Voogt i Sonneveld (2001) uważają, iż sałata jest gatunkiem słabiej reagującym na żywienie krzemem niż ogórki i cukinia. Resende i in. (2007) największy plon ogólny i handlowy sałaty kruchej uzyskali po zastosowaniu 2,0-2,7 l krzemu na 1 ha uprawy. Z kolei Bacchus (2010) wykazał zwiększenie plonu sałaty opryskiwanej biodynamicznym nawozem krzemowym, jednak wzrost ten nie został potwierdzony statystycznie. Podkreślenia wymaga istotnie większa (średnio o 9,20%) masa główek sałaty w obiektach nawożonych większą dawką manganu (tab. 1). Odmiennie wyniki prezentują Kozik i in. (2008), badający w uprawie sałaty różne dawki i formy nawozów manganowych. W badaniach tych, niezależnie od formy zastosowanego manganu, nie stwierdzono istotnych różnic w świeżej masie główek sałaty przy zawartości składnika w podłożu w zakresie od 10 do 30 mg·dm⁻³, natomiast istotny spadek nastąpił przy zawartości tego pierwiastka w ilości 60 mg·dm⁻³.

U roślin żywionych krzemem we wszystkich badanych dawkach stwierdzono większą zawartość suchej masy niż u roślin kontrolnych. Różnice istotne statystycznie stwierdzono jedynie pomiędzy obiektami, w których zastosowano 250 mg·dm⁻³ Si (średnio 5,62% suchej masy) a roślinami, którym nie dostarczano krzemionki (średnio

Tabela 1. Wpływ zróżnicowanych dawek krzemu i manganu na wielkość główek oraz zawartość suchej masy i kwasu L-askorbinowego w sałacie

Table 1. Effect of differentiated doses of silicon and manganese on the size of heads, as well as dry matter and L-ascorbic acid contents in lettuce

Dawka manganu Manganese dose (mg·dm ⁻³)	Dawka krzemu – Silicon dose				
	0 mg·dm ⁻³	250 mg·dm ⁻³	500 mg·dm ⁻³	750 mg·dm ⁻³	\bar{x}^{**}
Masa jednostkowa główek (g) – Unit mass of heads (g)					
5,2	267,9 a***	290,3 a***	275,6 a***	279,4 a***	278,3 a
52,0	289,9 a***	316,0 a***	302,2 a***	307,4 a***	303,9 b
\bar{x}^*	279,0 a	303,1 b	288,9 ab	293,4 ab	
Sucha masa (%) – Dry matter (%)					
5,2	4,94 a***	5,43 a***	5,35 a***	5,36 a***	5,27 a
52,0	5,15 a***	5,81 a***	5,23 a***	5,45 a***	5,41 a
\bar{x}^*	5,04 a	5,62 b	5,29 ab	5,41 ab	
Kwas L-askorbinowy (mg w 100 g św.m.) – L-ascorbic acid (mg per 100 g f.m.)					
5,2	9,68 a***	10,22 a***	7,96 a***	10,21 a***	9,52 a
52,0	10,24 a***	12,46 a***	9,09 a***	9,11 a***	10,22 a
\bar{x}^*	9,96 a	11,34 a	8,53 a	9,65 a	

*Średnie w wierszu oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$.**Średnie w kolumnie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$.***Średnie oznaczone tą samą literą w podklasach nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$.*Means in row marked with the same letter are not significantly different at $\alpha = 0.05$.**Means in column marked with the same letter are not significantly different at $\alpha = 0.05$.***Means marked with the same letter in subclasses are not significantly different at $\alpha = 0.05$.

5,04% suchej masy). Wyniki te są zgodne z wcześniejszymi badaniami, w których wykazano wzrost zawartości suchej masy u roślin żywionych krzemem (Jarosz, 2013, 2014; Junior i in., 2010).

Badania dotyczące wpływu krzemu na stan odżywienia roślin są rozbieżne. Z większości doniesień wynika, iż stosowanie krzemu poprawia efektywność nawożenia (Datnoff i in., red., 2001; Epstein, 1994). Odmienny pogląd prezentują Ma i Takahashi (2002), którzy wykazali spadek zawartości wszystkich badanych składników pokarmowych u roślin żywionych krzemem, przy czym pobieranie fosforu, wapnia, żelaza i manganu było istotnie mniejsze. W badaniach własnych nie stwierdzono istotnego wpływu dokorzeniowego stosowania krzemu na zawartość azotu, wapnia, magnezu, żelaza i miedzi w sałacie (tab. 2, 3).

Liczne badania potwierdzają korzystny wpływ stosowania krzemu na zaopatrzenie roślin w fosfor (Epstein, 1994; Farshidi i in., 2012). W prezentowanych badaniach najwięcej fosforu (0,79% s.m.) stwierdzono u roślin żywionych krzemem w dawce 750 mg·dm⁻³, a istotnie mniej przy stosowaniu dawki 0 oraz 250 mg·dm⁻³.

Tabela 2. Wpływ zróżnicowanych dawek krzemu i manganu na zawartość wybranych makroskładników w sałacie (% s.m.)

Table 2. Effect of differentiated doses of silicon and manganese on the selected macronutrients contents in lettuce (% d.m.)

Dawka manganu Manganese dose (mg·dm ⁻³)	Dawka krzemu – Silicon dose				
	0 mg·dm ⁻³	250 mg·dm ⁻³	500 mg·dm ⁻³	750 mg·dm ⁻³	\bar{x} **
N					
5,2	5,23 a***	5,41 a***	5,30 a***	5,23 a***	5,29 a
52,0	5,32 a***	5,30 a***	5,40 a***	5,47 a***	5,40 a
\bar{x} *	5,28 a	5,40 a	5,35 a	5,34 a	
P					
5,2	0,68 a***	0,72 a***	0,72 a***	0,73 ab***	0,71 a
52,0	0,67 a***	0,68 a***	0,78 ab***	0,86 b***	0,75 a
\bar{x} *	0,68 a	0,70 a	0,75 ab	0,79 b	
K					
5,2	4,00 a***	3,98 a***	3,97 a***	4,98 b***	4,23 a
52,0	4,24 a***	4,09 a***	4,52 ab***	4,80 ab***	4,41 a
\bar{x} *	4,12 a	4,03 a	4,25 a	4,89 b	
Ca					
5,2	1,07 a***	0,96 a***	0,93 a***	0,71 a***	0,92 a
52,0	0,96 a***	0,90 a***	0,98 a***	0,92 a***	0,94 a
\bar{x} *	1,02 a	0,93 a	0,96 a	0,81 a	
Mg					
5,2	0,46 a***	0,42 a***	0,41 a***	0,44 a***	0,43 a
52,0	0,42 a***	0,43 a***	0,43 a***	0,44 a***	0,43 a
\bar{x} *	0,44 a	0,43 a	0,42 a	0,44 a	

*Średnie w wierszu oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$.**Średnie w kolumnie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$.***Średnie oznaczone tą samą literą w podklasach nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$.*Means in row marked with the same letter are not significantly different at $\alpha = 0,05$.**Means in column marked with the same letter are not significantly different at $\alpha = 0,05$.***Means marked with the same letter in subclasses are not significantly different at $\alpha = 0,05$.

Zawartość potasu w liściach sałaty żywej krzemem w dawce 750 mg·dm⁻³ (4,89% s.m.) była największa w porównaniu z pozostałymi obiektami. Wyniki te są zgodne z doniesieniami literaturowymi, chociaż mechanizm oddziaływania krzemu na pobieranie potasu dotychczas nie został wyjaśniony (Amirossadat i in., 2012; Farshidi i in., 2012). Miao i in. (2010), którzy uprawiali rośliny w warunkach niedoboru potasu,

Tabela 3. Wpływ zróżnicowanych dawek krzemu i manganu na zawartość wybranych mikrośkładników w sałacie ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.)Table 3. Effect of differentiated doses of silicon and manganese on the selected micronutrients contents in lettuce ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.)

Dawka manganu Manganese dose ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$)	Dawka krzemu – Silicon dose				
	0 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$	250 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$	500 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$	750 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$	\bar{x}^{**}
Fe					
5,2	154,3 a***	134,9 a***	147,3 a***	153,1 a***	147,4 a
52,0	158,8 a***	143,9 a***	166,8 a***	134,8 a***	151,1 a
\bar{x}^*	156,6 a	139,4 a	157,1 a	143,9 a	
Zn					
5,2	112,3 a***	113,4 a***	102,7 a***	97,9 a***	106,6 a
52,0	130,4 a***	107,5 a***	89,7 a***	104,1 a***	107,9 a
\bar{x}^*	121,4 b	110,4 ab	96,2 a	101,1 ab	
Mn					
5,2	131,6 a***	107,1 a***	96,1 a***	92,9 a***	106,9 a
52,0	279,9 a***	262,7 a***	216,5 a***	206,2 a***	249,3 b
\bar{x}^*	205,8 b	184,9 ab	156,3 ab	149,6 a	
Cu					
5,2	6,38 a***	6,08 a***	6,77 a***	7,10 a***	6,58 a
52,0	8,39 a***	7,19 a***	6,10 a***	6,36 a***	7,01 a
\bar{x}^*	7,39 a	6,63 a	6,44 a	6,73 a	

*Średnie w wierszu oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$.**Średnie w kolumnie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$.***Średnie oznaczone tą samą literą w podklasach nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$.*Means in row marked with the same letter are not significantly different at $\alpha = 0.05$.**Means in column marked with the same letter are not significantly different at $\alpha = 0.05$.***Means marked with the same letter in subclasses are not significantly different at $\alpha = 0.05$.

wykazali wzrost zawartości tego składnika w liściach (o 105,4%), łodygach (o 83,4%) i korzeniach (o 58,8%) po zastosowaniu krzemu.

W przeprowadzonych badaniach najwięcej cynku (średnio $121,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) stwierdzono w liściach sałaty uprawianej w obiektach kontrolnych, w których nie stosowano dokorzeniowo krzemu. Zawartość cynku w badanych roślinach była niezależna statystycznie od dawki manganu. Nie odnotowano również istotnych interakcji pomiędzy badanymi czynnikami pod wpływem zawartości cynku w sałacie (tab. 3).

Analizując wyniki zawartości manganu w liściach badanych roślin, należy odnotować tendencję do jej zmniejszenia się w roślinach żywionych wzrastającymi dawkami krzemu, jednak statystycznie potwierdzone różnice wystąpiły jedynie w obiektach

z dawką Si $750 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Wyniki te są zgodne z wieloma wcześniejszymi doniesieniami, w których udowodniono spadek zawartości manganu w roślinach żywionych krzemem (Dragišić Maksimović i in., 2012; Jarosz, 2014). Zdaniem Junior i in. (2010) prawdopodobny jest mechanizm polegający na wiązaniu manganu przez kwas ortokrzemowy w środowisku korzeniowym, co istotnie zmniejsza pobieranie tego mikroelementu przez rośliny. Zdaniem Shi i in. (2005) rola krzemu w ograniczaniu fitotoksyczności manganu polega również na istotnej aktywacji enzymów antyoksydacyjnych oraz nieenzymatycznych antyutleniaczy. W prezentowanych badaniach zawartość manganu w liściach sałaty uprawianej w poszczególnych obiektach zawierała się w przedziale od $92,9$ do $279,9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. (tab. 3). Pomimo tak różnej zawartości tego mikroelementu nie stwierdzono na roślinach żadnych wizualnych objawów, które mogłyby świadczyć o nieprawidłowościach w odżywieniu. Zdaniem Junior i in. (2010) rośliny różnią się zdecydowanie powinowactwem do kumulacji manganu. Ci sami autorzy za odpowiednią uznają zawartość manganu od 30 do $500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., a za deficytową – zawartość od 10 do $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., natomiast za stężenie toksyczne uznają zawartość tego pierwiastka w ilości od 200 do $5300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. Również Dragišić Maksimović i in. (2012) podają, iż wizualne objawy fitotoksyczności manganu są przede wszystkim cechą gatunkową, która decyduje o poziomie tolerancji na wzrost koncentracji tego pierwiastka w środowisku korzeniowym roślin.

Dietzel (2000) oraz Greger i in. (2011) dowodzą, iż jony miedzi w środowisku korzeniowym ulegają kompleksowaniu przez kwas ortokrzemowy, w wyniku czego powstają polikrzemiany. Zjawisko to zmniejsza dostępność miedzi dla roślin. W przeprowadzonych badaniach odnotowano od $6,08$ do $8,39 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. miedzi w liściach sałaty. Zawartość tego mikroelementu była niezależna statystycznie od badanych czynników. Zbliżone wartości miedzi w sałacie odnotowali Kleiber i Markiewicz (2010).

Wnioski

1. Odnotowano istotnie większą masę jednostkową główek sałaty oraz istotnie większą zawartość suchej masy u roślin żywionych krzemem w dawce $250 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, w porównaniu z kontrolą.

2. Stwierdzono istotny wzrost masy jednostkowej główek sałaty nawożonej manganem w dawce $52,0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ w porównaniu z obiektami nawożonymi tym pierwiastkiem w ilości $5,20 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

3. Sałata żywiona największą dawką krzemu zawierała istotnie więcej fosforu i potasu oraz mniej manganu niż rośliny kontrolne.

Literatura

- Amirossadat, Z., Ghehsareh, A. M., Mojiri, A. (2012). Impact of silicon on decreasing of salinity stress in greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* L.) in soilless culture. *J. Biol. Environ. Sci.*, 6, 17, 171–174.
- Aschner, J. L., Aschner, M. (2005). Nutritional aspects of manganese homeostasis. *Mol. Aspects Med.*, 26, 4–5, 353–362.

- Bacchus, G. L. (2010). An evaluation of the influence of biodynamic practices including foliar-applied silica spray on nutrient quality of organic and conventionally fertilized lettuce (*Lactuca sativa* L.). *J. Org. Syst.*, 5, 1, 4–13.
- Datnoff, L. E., Snyder, G. H., Korndörfer, G. H. (red.). (2001). Silicon in agriculture. *Stud. Plant Sci.*, 8.
- Dietzel, M. (2000). Dissolution of silicates and the stability of polysilicic acid. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64, 3275–3281.
- Dragičić Maksimović, J., Mojović, M., Maksimović, V., Römheld, V., Nolic, M. (2012). Silicon ameliorates manganese toxicity in cucumber by decreasing hydroxyl radical accumulation in the leaf apoplast. *J. Exp. Bot.*, 63, 7, 2411–2420.
- Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 91, 1, 11–17.
- Farshidi, M., Abdolzadeh, A., Sadeghipour, H. R. (2012). Silicon nutrition alleviates physiological disorders imposed by salinity in hydroponically grown canola (*Brassica napus* L.) plants. *Acta Physiol. Plant.*, 34, 5, 1779–1788.
- Górecki, R. S., Danielski-Busch, W. (2009). Effect of silicate fertilizers on yielding of greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* L.) in container cultivation. *J. Elementol.*, 14, 1, 71–78.
- Greger, M., Landberg, T., Vaculik, M., Lux, A. (2011). Silicon influences nutrient status in plants. W: *Proceedings of the 5th International Conference on Silicon in Agriculture*, September 13–18, 2011, Beijing, China (s. 57–58). Beijing.
- Hogendorp, B. K. (2008). Effect on silicon-based fertilizer application on the development and reproduction of insect pests associated with greenhouse-grown crops. Urbana–Champaign: University of Illinois at Urbana–Champaign, USA.
- Jarosz, Z. (2013). The effect of silicon application and type of substrate on yield and chemical composition of leaves of cucumber. *J. Elementol.*, 18, 403–414. DOI: 10.5601/jelem.2013.18.3.05
- Jarosz, Z. (2014). The effect of silicon application and type of substrate on yielding and chemical composition of tomato. *Acta Sci. Pol. Hort. Cult.*, 13, 4, 171–183.
- Junior, L. A. Z., Fontez, R. L. F., Nevez, J. C. L., Korndorfer, G. H., Avila, V. T. (2010). Rice grown in nutrient solution with doses of manganese and silicon. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 34, 1629–1639.
- Kleiber, T., Markiewicz, B. (2010). Tolerancja sałaty (*Lactuca sativa* L.) na zasolenie. Część III. Zawartość mikroelementów metalicznych i sodu w roślinach. *Nauka Przyr. Technol.*, 4, 4, #48.
- Kozik, E., Tyksiński, W., Komosa, A. (2008). Effect of chelated and mineral forms of micronutrients on their content in leaves and the yield of lettuce. Part I. Manganese. *Acta Sci. Pol. Hort. Cult.*, 7, 1, 73–82.
- Ma, J. F., Takahashi, E. (2002). Soil, fertilizer and plant silicon research in Japan. Amsterdam: Elsevier.
- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press.
- Miao, B.-H., Han, X.-G., Zhang, W.-H. (2010). The ameliorative effect of silicon on soybean seedlings grown in potassium-deficient medium. *Ann. Bot. (Lond.)*, 105, 967–973.
- Ostrowska, A., Gawliński, S., Szczubiałka, Z. (1991). *Metody analizy i oceny gleb i roślin*. Warszawa: Instytut Ochrony Środowiska.
- PN-A-04019 1998. (1998). Oznaczanie zawartości witaminy C. Warszawa: PKN.
- PN-90/A-75101/03 1990. (1990). Oznaczanie zawartości suchej masy metodą wagową. Warszawa: PKN.
- Resende, G. M., Yuri, J. E., Souza, R. J. (2007). The influence of planting times and silicon doses on the yield of crisphead lettuce. *Hortic. Bras.*, 25, 3, 455–459.
- Sacała, E. (2009). Role of silicon in plant resistance to water stress. *J. Elementol.*, 14, 3, 619–630.

Shi, X. H., Zhang, C. C., Wang, H., Zhang, F. S. (2005). Effect of Si on the distribution of Cd in rice seedlings. *Plant Soil*, 272, 53–60.

Sonneveld, C., Voogt, W. (2009). *Plant nutrition of greenhouse crops*. Dordrecht: Springer.

Voogt, W., Sonneveld, C. (2001). Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. *Stud. Plant Sci.*, 8, 115–131.

THE EFFECT OF DIFFERENT DOSES OF SILICON AND MANGANESE ON THE SIZE AND CHEMICAL COMPOSITION OF LETTUCE HEADS

Summary. The results of numerous studies indicate a beneficial effect of silicon in cultivation, however, reports on the impact of this element on the chemical composition of plants are varied. The studies on the effect of silicon application on the manganese uptake, which excess can be strongly toxic for plants, are also inconclusive. Studies conducted in 2009–2010 were to determine the effect of rhizosphere application of silicon (0, 250, 500 or 750 mg·dm⁻³) and manganese (5.2 or 52.0 mg·dm⁻³) on the size and chemical composition of lettuce heads of the variety ‘Omega F₁’ grown in the greenhouse. Two-factor experiment was carried out in a completely randomized system. Plants were grown in pots with a volume of 2 dm³ filled with peat substrate at pH 6.5. The studies reported a significantly greater weight of heads and a higher content of dry matter of plants fed with silicon at a dose of 250 mg·dm⁻³ compared to control objects that were not used for this element. Regardless of silicon fertilization a significant increase was shown in the weight of the unit heads of lettuce fertilized with manganese at a dose of 52.0 mg·dm⁻³ in comparison to 5.2 mg·dm⁻³. Lettuce fed with silicon at a dose of 750 mg·dm⁻³ contained significantly more phosphorus and potassium and less manganese compared to control plants without feeding this element.

Key words: Si, Mn, dry matter, L-ascorbic acid, macronutrients, micronutrients

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Zbigniew Jarosz, *Katedra Uprawy i Nawożenia Roślin Ogrodniczych, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Leszczyńskiego 58, 20-068 Lublin, Poland, e-mail: zbigniew.jarosz@up.lublin.pl*

Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:

3.09.2014

Do cytowania – For citation:

Jarosz, Z. (2015). Wpływ zróżnicowanych dawek krzemu i manganu na wielkość oraz skład chemiczny główek sałaty. *Nauka Przyr. Technol.*, 9, 1, #1. DOI: 10.17306/J.NPT.2015.1.1