Wrażliwość roślin na nikiel w warunkach różnej koncentracji żelaza lub wapnia w środowisku odżywczym

RENATA MATRASZEK

Katedra Fizjologii Roślin, Akademia Rolnicza w Lublinie, ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin
Matraszek R. (Department of Plant Physiology, Agricultural University, Akademicka 15, 20-950 Lublin). Plants sensitivity on nickel under different conditions of iron or calcium concentration in the nutrient medium.

(Otrzymano: 20.07.2001)

Summary

The sensitivity of six vegetable plants on nickel at early stages of their growth was investigated by index of tolerance. Besides the possibility of nickel fitostabilization by additional application of iron or calcium was tested. The experiment was conducted on Petri dishes. Different concentrations of nickel (0; 0,03; 0,06mM Ni as nickel sulphate), iron (0,05; 0,01mM Fe as Fe^{2+} citrate) and calcium (0,50; 0,75; 1mM Ca as calcium carbonate) were added. Taking into consideration the sensitivity, investigated vegetables can be ordered in the following way: *Cucurbita pepo* conv. *giromontiina* L. > *Lactuca sativa* L. > *Sinapis alba* L. > *Spinacia oleracea* L. = *Zea mays* var. *saccharata* Kcke. > *Phaseolus vulgaris* L. Positive, statistically significant effect of nickel fitostabilization (0,03 or 0,06mM Ni) on elongative growth by the iron application (0,10mM Fe) was shown for *Zea mays* var. *saccharata* Kcke independently of Ni concentration in the nutrient medium as well as for *Sinapis alba* L. and *Phaseolus vulgaris* L. in 0,06mM Ni. Addition as much as 0,75mM Ca in the presence 0,03mM Ni had positive result on *Sinapis alba* L and *Phaseolus vulgaris* L. seedlings as well as on *Zea mays* var. *saccharata* Kcke and *Lactuca sativa* L. roots and *Cucurbita pepo* convar. *giromontiina* L. shoots. Addition of 0,75mM Ca in the presence 0,06mM Ni promoted elongative growth of *Zea mays* var. *saccharata* Kcke seedlings. Application 1mM Ca resulted in the promotion of elongative growth of *Zea mays* var. *saccharata* Kcke. roots (0,03mM Ni) as well as *Spinacia oleracea* L. roots (0,06mM Ni).

Key words: index of tolerance, nickel, iron, calcium, mustard, lettuce, spinach, zucchini, bean, maize

WSTĘP

Warzywa charakteryzują się dużymi możliwościami gromadzenia metali ciężkich, wśród których nikiel stanowi coraz większy procent (Fergusson, 1990; Witczak, Adamczyk, 1995; Jasiewicz i in., 1997). Nikiel w stężeniu „ponadprogowym” zaburza przebieg wielu procesów fizjologicznych jak również powoduje silne uszkodzenia organelli i błon komórkowych (Krupa i in. 1993; Molas, 1997a; Szymańska i in., 1997). Wpływ niklu na rośliny polega przede wszystkim na wyłączeniu niektórych makro- i mikroelementów z ich funkcji fizjologicznych. Potwierdzeniem takiej tezy jest np. wtórny niedobór żelaza spowodowany nadmiarem niklu (Ruszkowska, Wojcieśka - Wyskupajtyś, 1996; Szymańska, Matraszek, 1996). Na ogół dobre zaopatrzenie roślin w główne składniki pokarmowe, a szczególnie w dwuwartościowe kationy takie jak np. wapń i magnez ogranicza szkodliwe działanie niklu (Mishra, Kar, 1974).

W prezentowanej pracy starano się oszacować wrażliwość wybranych gatunków warzyw na obecność niklu w środowisku odżywczym. Wrażliwość tę określano na podstawie indeksu tolerancji – metody, która często stosowana jest do oceny tolerancji roślin na czynniki środowiska. Ponadto celem pracy była fitostabilizacja niklu przez dodatkową aplikację żelaza lub wapnia.

MATERIAŁ I METODY

Obiektem badań było sześć gatunków warzyw: *Sinapis alba* L. odm. Borowska z rodziny *Brassicaceae*, *Lactuca sativa* L. odm. Syrena z rodziny *Cichoriaceae*, *Spinacia oleracea* L. odm. Markiza F1 z rodziny *Chenopodiaceae*, *Cucurbita pepo* convar. *giromontiina* L. odm. Soraya z rodziny *Cucurbitaceae*, *Phaseolus vulgaris* L. odm. Złota Saxa z rodziny *Fabaceae* i *Zea mays* var. *saccharata* Kcke odm. Złota Karłowa z rodziny *Poaceae*.

Nasiona badanych gatunków roślin odkażono 1% roztworem, w którym substancją czynną był podchloryn sodu (Malępszy i in., 1989). Sterylne nasiona wykładano na szalki Petriego w ilości 5 (kukurydza cukrowa, cukinia, fasola zwyczajna) lub 10 (szpinak warzywny, gorczyca biała i sałata siewna) sztuk na tzw. podkłady płaskie (Duczmał, 1993). W celu zbliżenia warunków badań do optymalnego składu chemicznego roztworu glebowego podkłady nasączono 10cm³ pożywki wprowadzając jednorazowo na płytkę: N-0,1mg; P-0,06 mg; K-0,1 mg; Mg-0,07mg; Ca-0,20mg (0,50mM Ca) w formach KNO₃, KH₂PO₄, MgSO₄·6H₂O i CaCO₃ oraz 0,03mg Fe (0,05mM Fe jako cytrynian-Fe²⁺) i 0,01cm³ 1% roztworu mikroelementów A-Z. Roztwór ww. pożywki zróżnicowano pod względem zawartości niklu (NiSO₄·7H₂O) aplikując Ni w stężeniach 0,00 (kontrola); 0,03 lub 0,06mM. Natomiast w celu fitostabilizacji niklu wprowadzono zwiększone koncentracje żelaza (0,10mM Fe) oraz wapnia (0,75 lub 1,00mM Ca). Kwasowość podłoża ustalono na pH 5,5. Dodatkowo kiełkowanie nasion prowadzono na bibule zwilżonej 10cm³ wody redestylowanej.

Kiełkowanie nasion prowadzono w termostacie mikrobiologicznym w warunkach kontrolowanych: wilgotności 90% i temperaturze optymalnej dla procesu kieł-

kowania danego gatunku tj. dla kukurydzy cukrowej, cukini, gorczycy białej i fasoli zwykłej w 25°C, dla sałaty siewnej w 20°C oraz dla szpinaku warzywnego – 10°C (Dorowalski i in. 1964). Ze względu na dodatnie właściwości fotoblastyczne nasion badanych odmian sałaty siewnej i gorczycy białej kiełkujące nasiona poddano przez 24h działaniu światła o niskim natężeniu ($10^{-1} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$). Po upływie terminu zdolności kiełkowania, który dla gorczycy białej wynosi 5 dni, dla sałaty siewnej, cukini i kukurydzy cukrowej – 7, fasoli – 9 i szpinaku warzywnego – 21 dni (Dorowalski i in., 1964) siewki przez 48 przetrzymywano w optymalnych warunkach świetlnych (uwzględniając przynależność do grupy klasyfikacji fotoperiodycznej), temperaturowych i wilgotnościowych, a następnie analizowano początkowy wzrost siewek na podstawie pomiarów długości korzenia i pędu (hypokotyla, a w przypadku kukurydzy epikotyła), co dało podstawę do obliczenia indeksu tolerancji (Wilkins, 1957):

$$\text{IT pędu lub korzeni} = \frac{\text{długość pędu lub korzeni w obecności Ni}}{\text{długość pędu lub korzeni roślin kontrolnych}} \times 100\%$$

Wyniki pomiarów poddano analizie statystycznej z zastosowaniem analizy wariancji i analizy regresji wielorakiej. Umieszczone w tabelach dane są średnią arytmetyczną z 3 kolejnych powtórzeń w czasie, przy czym eksperyment prowadzono w 20 replikacjach.

WYNIKI

Pomiar długości pędów i korzeni siewek wskazał na istotne zróżnicowanie we wzroście elongacyjnym tych organów w zależności od stopnia skażenia środowiska niklem i gatunku rośliny. Wykazano istotny spadek przyrostu elongacyjnego korzeni i pędów wszystkich badanych gatunków roślin zarówno w obecności 0,03 jak i 0,06 mM Ni (tab. 1, 2). Biorąc pod uwagę spadek wartości indeksu tolerancji (IT) pędu, w warunkach skażenia środowiska niklem 0,03 mM, badane gatunki roślin można uszeregować w następującej kolejności: cukinia (spadek o 96%); fasola (78%); gorczyca (71%); kukurydza (65%); szpinak (59%) i sałata (52%), natomiast korzeni: cukinia (spadek o 92%); kukurydza (84%); sałata (81%); gorczyca (72%); fasola (57%) i szpinak (spadek o 47%). Jeszcze większe zahamowanie wzrostu elongacyjnego organów roślinnych stwierdzono w warunkach dwukrotnie wyższego skażenia środowiska niklem. Mianowicie spadek wartości indeksu tolerancji pędu wynosił dla cukini 99%, gorczycy 94%, fasoli 92%, sałaty 91%, kukurydzy 80% i szpinaku 76%, zaś spadek IT korzeni wynosił dla cukini 97%, sałaty 96%, gorczycy 92%, szpinaku 91%, kukurydzy 87% i fasoli 65% (tab. 3).

Największą średnią długość pędu na bibule nasączonej wodą redestylowaną uzyskano dla kukurydzy, zaś najmniejszą dla sałaty. Natomiast najwyższą długością korzeni charakteryzowały się siewki fasoli, a najniższą cukini (tab. 2).

Incubacja siewek w podłożu tzw. „czystym” (0mM Ni + pożywka podstawowa) wzbogaconym w jony żelaza (0,10mM Fe) wpłynęła na istotny wzrost długości korzeni fasoli i pędu kukurydzy oraz istotny spadek długości części nadziemnych i korzeni dla pozostałych badanych gatunków roślin (tab. 1).

Tabela 1. Pomiary biometryczne siewek w zależności od różnych zawartości miedzi i żelaza w środowisku odżywczym.
Table 1. Biometrics measurements in relation to different nickel and iron concentration in the nutrient medium.

Seria Series	Stężenie Concentra- tion (mM)	Fe		Długość pędu Shoot length (mm)						Średnie dla Average for						Fe					
		Ni	Fe							Ni						Fe					
I	0,00	53,0	10,4	66,1	36,9	77,3	78,2	41,9	8,1	54,9	29,3	78,7	85,0	23,8	5,4	36,5	12,8	35,5	40,2		
II	0,03	15,3	5,1	27,3	1,3	16,8	26,8	17,9	2,9	21,4	2,1	17,1	49,8								
III	0,06	3,1	0,9	16,2	0,3	6,3	15,7	8,8	0,8	9,3	0,7	16,7	32,0								
IV	0,00	30,7	5,7	43,8	21,7	80,1	91,8							21,9	2,4	20,5	8,5	41,9	71,0		
V	0,03	20,5	0,8	15,4	2,8	18,7	72,8														
VI	0,06	14,5	0,7	2,35	1,0	27,0	48,3														
NUR (LSD) P _{0,05}		5,58	1,74	4,71	5,72	8,41	8,43	3,13	0,98	2,64	3,21	4,72	4,73	2,98	0,65	1,76	2,14	1,15	3,16		
Seria Series	Fe	Długość korzenia Root length (mm)						Średnie dla Average for						Fe							
								Ni						Fe							
I	0,00	60,7	55,8	24,7	43,7	55,8	53,8	42,9	29,6	20,1	28,0	60,9	56,3	27,5	22,9	13,3	16,2	33,1	23,2		
II	0,03	17,0	10,8	13,1	3,7	23,8	8,8	17,1	5,9	10,6	3,6	23,1	33,1								
III	0,06	4,7	2,0	2,1	1,3	19,8	7,1	8,0	1,5	2,16	1,9	25,8	15,1								
IV	0,00	25,2	3,4	15,4	12,3	65,9	58,8							17,9	1,8	8,6	6,1	40,0	46,4		
V	0,03	17,3	1,0	8,2	3,5	22,3	57,3														
VI	0,06	11,3	1,0	2,2	2,5	31,8	23,1														
NUR (LSD) P _{0,05}		4,05	3,74	4,09	5,16	8,12	8,56	2,27	2,10	2,30	2,90	4,56	4,80	1,52	1,40	1,53	1,93	3,04	3,23		

Tabela 2. Pomiar biometryczne siewek w zależności od różnych zawartości niklu i wapnia w środowisku odżywczym.
Table 2. Biometrics measurements in relation to different nickel and calcium concentration in the nutrient medium.

Seria Series	Stężenie Concentra- tion (mM)	Długość pędu Shoot length (mm)												Średnie dla				Average for				Ca			
		Ni						Ca						Ni				Ca				Ca			
		Shoot length (mm)						Shoot length (mm)						Shoot length (mm)				Shoot length (mm)				Shoot length (mm)			
I	0,00	53,0	10,4	66,1	36,9	77,3	78,2	50,5	9,1	48,3	36,0	80,1	92,1	23,8	5,4	36,5	12,8	33,5	40,2	61,2					
II	0,03	15,3	5,1	27,3	1,3	16,8	26,8	23,6	4,3	23,2	4,0	25,1	27,8	23,8	5,4	36,5	12,8	33,5	40,2	61,2					
III	0,06	3,1	0,9	16,2	0,3	6,3	15,7	4,72	0,8	14,6	0,8	6,6	19,6	23,8	5,4	36,5	12,8	33,5	40,2	61,2					
VII	0,00	51,1	11,2	43,2	36,0	80,9	124,8	50,5	9,1	48,3	36,0	80,1	92,1	23,8	5,4	36,5	12,8	33,5	40,2	61,2					
VIII	0,03	32,6	5,2	22,1	8,0	40,8	30,8	23,6	4,3	23,2	4,0	25,1	27,8	23,8	5,4	36,5	12,8	33,5	40,2	61,2					
IX	0,06	5,8	0,8	17,8	1,7	7,3	27,9	4,72	0,8	14,6	0,8	6,6	19,6	23,8	5,4	36,5	12,8	33,5	40,2	61,2					
X	0,00	47,5	5,7	35,8	35,0	82,1	73,3	50,5	9,1	48,3	36,0	80,1	92,1	23,8	5,4	36,5	12,8	33,5	40,2	61,2					
XI	0,03	22,8	2,6	20,1	2,6	17,8	25,9	23,6	4,3	23,2	4,0	25,1	27,8	23,8	5,4	36,5	12,8	33,5	40,2	61,2					
XII	0,06	5,7	0,8	9,81	0,3	6,20	15,2	4,72	0,8	14,6	0,8	6,6	19,6	23,8	5,4	36,5	12,8	33,5	40,2	61,2					
NUR (LSD) P _{0,05}		14,2	2,06	4,32	6,50	9,09	10,30	5,89	0,87	1,81	2,73	3,82	4,33	5,89	0,87	1,81	2,73	3,82	4,33	4,33					
		dla Ca-Ni for Ca-Ni												dla Ni for Ni				dla Ca for Ca				dla Ca for Ca			
		Analiza regresji wielorakiej pomiarów biometrycznych pędu siewek Manifold regression analysis of seedlings shoots biometrics measurements																							
		$y = 38,7 - 6,5764Ni + 2,0893Fe - 1,3957Ni^2$																				$R^2 = 84,12\%$			
		$y = 7,9 - 3,657Ni + 1,016Fe + 1,143Ni^2$																				$R^2 = 75,97\%$			
		$y = 23,7 - 8,1Ni + 2,186Fe + 1,076Ni^2 + 1,165Fe^2$																				$R^2 = 90,54\%$			
		$y = 16,6 - 4,756Ni + 3,176Fe + 1,1578Ca - 2,013Ni^2$																				$R^2 = 95,61\%$			
		$y = 53,898 - 10,1289Ni + 1,167Fe + 1,4328Ni^2$																				$R^2 = 98,18\%$			
		$y = 66,4 - 5,1785 + 3,1864Ca + 1,865Ni^2$																				$R^2 = 93,24\%$			

Tabela 2. Pomiary biometryczne siewek w zależności od różnych zawartości niklu i wapnia w środowisku odżywczym – ciąg dalszy.
Table 2. Biometrics measurements in relation to different nickel and calcium concentration in the nutrient medium – continuation.

Seria Series	Stężenie Concentra- tion (mM)	Długość korzenia Root length (mm)		Średnie dla		Average for		Ca	
		Ni	Ca	Ni	Ca	Ni	Ca	Ni	Ca
I	0,00	60,7	55,8	24,7	43,7	55,8	53,8	61,0	45,4
II	0,03	17,0	10,8	13,1	3,7	23,8	8,8	27,5	11,6
III	0,06	4,7	2,0	2,1	1,3	19,8	7,12	5,4	1,4
VII	0,00	61,2	38,0	41,9	41,0	60,0	46,4		
VIII	0,03	41,7	20,6	8,13	3,0	40,0	17,4		
IX	0,06	6,2	1,1	6,12	2,3	20,0	23,2		
X	0,00	61,2	43,0	17,3	33,7	63,8	49,7		
XI	0,03	23,9	3,5	9,8	3,0	24,8	27,3		
XII	0,06	5,17	1,2	7,3	2,3	18,7	7,3		
NUR (LSD) $P_{0,05}$		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15
		dla Ca-Ni		dla Ca-Ni	dla Ca-Ni	dla Ni	for Ni	dla Ca	for Ca
		7,75	5,13	4,50	6,03	13,01	7,93	3,26	2,15

Aplikacja do środowiska „czystego” dodatkowych, tj. wyższych niż w pożywce podstawowej dawek wapnia (0,75 lub 1,00mM Ca) nie wpłynęła na istotne statystycznie zmiany we wzroście elongacyjnym badanych organów fasoli i gorczycy, natomiast reakcja pozostałych gatunków roślin w tym względzie była bardzo zróżnicowana. Mianowicie wprowadzenie 0,75mM Ca wpłynęło na istotne zwiększenie długości pędów kukurydzy oraz istotny spadek długości korzeni sałaty i części nadziemnych szpinaku przy równoczesnym istotnym wzroście długości korzeni tej ostatniej rośliny. Natomiast jeszcze wyższe dawki wapnia, tj. 1mM Ca spowodowały istotne zahamowanie wzrostu elongacyjnego siewek sałaty i szpinaku oraz istotny spadek długości korzeni cukini (tab. 2).

Effekt detoksykacji jonów niklu (0,03 lub 0,06mM Ni) przez wzbogacenie środowiska w jony żelaza (0,10mM Fe) oszacowany na podstawie wzrostu elongacyjnego siewek był bardzo różny. Wykazano korzystny, statystycznie udowodniony rezultat tego zabiegu na wzrost siewek kukurydzy, natomiast nie zanotowano istotnych zmian u siewek cukini. Reakcja pozostałych roślin w tym względzie była zróżnicowana. Fitostabilizacja 0,03mM Ni przez dodatkowe wprowadzenie jonów Fe^{2+} nie wpłynęła na istotne zmiany u gorczycy i fasoli, zaś u sałaty i szpinaku spowodowała nawet istotny spadek długości pędu i korzeni. Wykazano, że próba złagodzenia toksycznego wpływu wyższej z badanych koncentracji niklu (0,06mM Ni) przez zastosowanie 0,10mM Fe miała istotny wpływ na poprawę wzrostu elongacyjnego siewek gorczycy i fasoli, natomiast u sałaty nie zanotowano w tym względzie istotnych różnic. Natomiast u siewek szpinaku stwierdzono istotny spadek długości pędu (tab. 1).

Indeks tolerancji na nikiel siewek roślin inkubowanych w środowisku skażonym niklem w warunkach wysokich zawartości żelaza (0,10mM Fe) wyraźnie wzrastał u gorczycy, kukurydzy i cukini, przy czym wyższy wzrost IT wykazano na ogół wtedy, gdy zabieg detoksykacji stosowano dla 0,03mM niż dla 0,06mM Ni. W porównaniu z podstawową koncentracją żelaza (0,05mM Fe) wzrost IT siewek gorczycy, kukurydzy i cukini dla niższej z badanych koncentracji niklu (0,03mM Ni) wynosił odpowiednio 38, 45 i 9% (pęd) oraz 41, 81 i 20% (korzeń), natomiast dla wyższego stężenia niklu (0,06mM Ni) zmiany te wynosiły odpowiednio 41, 33 i 4% (pęd) oraz 37, 26 i 17% (korzeń). Reakcja pozostałych gatunków roślin na omawiany zabieg była zróżnicowana. Stwierdzono, że zastosowana detoksykacja przez jony Fe^{2+} 0,03mM Ni wpłynęła na 35% spadek indeksu tolerancji pędu oraz 10% wzrost IT korzeni sałaty, podczas gdy u fasoli efekt był odwrotny i mniej znaczący jako, że otrzymano 2% wzrost indeksu tolerancji pędu oraz 9% spadek IT korzenia. Natomiast u siewek szpinaku omawiany zabieg spowodował 6% spadek indeksu tolerancji w odniesieniu do części nadziemnej nie zmieniając IT korzenia. W warunkach najwyższego badanego skażenia środowiska niklem (0,06mM Ni) wprowadzenie wzmożonej dawki żelaza (0,10mM Fe) w porównaniu z podstawową dawką tego metalu (0,05mM Fe) wpłynęło na wzrost indeksu tolerancji pędu oraz korzenia sałaty (odpowiednio o 4 i 24%) i fasoli (o 26 i 13%), zaś u szpinaku reakcja ta była zróżnicowana, jako że zanotowano 19% spadek indeksu tolerancji części nadziemnej i 6% wzrost IT korzenia (tab. 3).

Effekt zabiegu detoksykacji niklu przez jony Ca^{2+} w fazie początkowego wzrostu roślin zależał od ilościowego stosunku jonów niklu do wapnia oraz organu i gatunku rośliny. Próba fitostabilizacji 0,03mM Ni poprzez dodatek wapnia w ilości 0,75mM Ca przyniosła pozytywny efekt w postaci istotnego wzrostu elongacyjnego siewek

Tabela 3. Indeks tolerancji pędu i korzeni siewek
Table 3. The index of tolerance of seedlings shoot and root

Seria Series	Stężenie Concentration (mM)			Sinapis alba L.			Lactuca sativa L.			Spinacia oleracea L.			Cucurbita pepo convar. giromontina L.			Phaseolus vulgaris L.			Zea mays var. saccharata Kcke.		
	Ni	Fe	Ca	pęd shoot	korzeń root	pęd shoot	korzeń root	pęd shoot	korzeń root	pęd shoot	korzeń root	pęd shoot	korzeń root	pęd shoot	korzeń root	pęd shoot	korzeń root	pęd shoot	korzeń root	pęd shoot	korzeń root
I	0,00	0,05	0,50	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
II	0,03			28,87	27,95	48,51	19,30	41,30	53,01	3,60	8,40	21,73	42,64	21,73	42,64	34,28	16,38	34,28	16,38	34,28	16,38
III	0,06			5,85	7,74	8,17	3,66	24,52	8,61	0,89	2,97	8,15	35,48	8,15	35,48	20,07	13,23	20,07	13,23	20,07	13,23
IV	0,00	0,10	0,50	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
V	0,03			66,75	68,73	13,24	29,53	35,17	53,16	12,78	28,39	23,31	33,84	23,31	33,84	79,30	97,45	79,30	97,45	79,30	97,45
VI	0,06			47,22	44,89	12,54	27,78	5,36	14,38	4,61	20,28	33,75	48,25	33,75	48,25	52,61	39,29	52,61	39,29	52,61	39,29
I	0,00	0,05	0,50	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
II	0,03			28,87	27,95	48,51	19,30	41,30	53,01	3,60	8,40	21,73	42,64	21,73	42,64	34,28	16,38	34,28	16,38	34,28	16,38
III	0,06			5,85	7,74	8,17	3,66	24,52	8,61	0,89	2,97	8,15	35,48	8,15	35,48	20,07	13,23	20,07	13,23	20,07	13,23
VII	0,00	0,05	0,75	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
VIII	0,03			63,81	68,11	46,11	54,91	51,25	19,40	22,22	7,32	50,43	66,70	50,43	66,70	24,68	37,63	24,68	37,63	24,68	37,63
IX	0,06			11,34	10,12	6,98	2,87	41,22	14,61	4,64	5,68	9,02	33,67	9,02	33,67	22,39	49,96	22,39	49,96	22,39	49,96
X	0,00	1,00	1,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
XI	0,03			48,08	38,39	46,54	8,14	56,15	56,67	7,51	8,91	21,67	38,87	21,67	38,87	35,29	54,99	35,29	54,99	35,29	54,99
XII	0,06			11,10	8,45	13,32	2,70	27,40	42,29	0,94	6,83	7,55	29,31	7,55	29,31	20,74	14,69	20,74	14,69	20,74	14,69

gorczycy i fasoli. Ponadto odnotowano istotny wzrost długości korzenia kukurydzy, gorczycy, fasoli i sałaty oraz istotne zwiększenie długości części nadziemnej cukini. Jedynie u szpinaku stwierdzono istotne ograniczenie wzrostu elongacyjnego siewek. Próba złagodzenia toksycznego działania wyższego z badanych stężeń niklu ($0,06\text{mM Ni}$) przez aplikację wspomnianej dawki wapnia, tj. $0,75\text{mM Ca}$ okazała się skuteczna jedynie w odniesieniu do siewek kukurydzy istotnie zwiększając wzrost elongacyjny zarówno pędu jak i korzenia (tab. 2).

Zabieg detoksykacji $0,03\text{mM Ni}$ przez aplikację 1mM Ca spowodował istotny wzrost długości korzenia kukurydzy oraz istotny spadek wzrostu elongacyjnego siewek sałaty i pędu szpinaku. Próba neutralizacji wyższych koncentracji niklu ($0,06\text{mM Ni}$) poprzez wprowadzenie 1mM Ca przyniosła korzystny, statystycznie udowodniony efekt tylko w odniesieniu do korzeni szpinaku powodując równocześnie istotny spadek długości pędu tej rośliny (tab. 2).

Neutralizowanie jonami wapnia środowiska kiełkujących nasion skażonego $0,03\text{mM Ni}$ na ogół spowodowało wzrost indeksu tolerancji poszczególnych organów badanych siewek. Indeks tolerancji części nadziemnej i korzeni gorczycy wzrastał odpowiednio o 35 i 40 ($0,75\text{mM Ca}$) oraz 19 i 10% (1mM Ca). Zależnie od zastosowanej ilości wapnia ($0,75$ lub 1mM Ca) wykazano również zwiększenie indeksu tolerancji pędu szpinaku odpowiednio o 10 i 15% oraz cukini o 19 i 4%, natomiast IT części nadziemnej sałaty zmniejszał się o 2 %. Indeks tolerancji pędu fasoli wzrastał o 28%, a kukurydzy spadał o 10% ($0,75\text{mM Ca}$) lub też praktycznie nie ulegał zmianie (1mM Ca). Stosując zabieg neutralizacji $0,03\text{mM Ni}$, zależnie od wprowadzonej dawki detoksykanta, stwierdzono wzrost indeksu tolerancji korzeni kukurydzy odpowiednio o 21 i 39%. U sałaty i fasoli odnotowano 36 i 24% wzrost ($0,75\text{mM Ca}$) lub 11 i 4% spadek (1mM Ca) IT korzeni, zaś u cukini i szpinaku reakcja była odwrotna jako, że otrzymano 1 i 34% spadek lub 1 i 4% wzrost indeksu tolerancji korzeni (tab. 3).

Detoksykacja $0,06\text{mM Ni}$ poprzez aplikację jonów wapnia wpłynęła na zwiększenie indeksu tolerancji siewek szpinaku, przy czym IT pędu wzrósł odpowiednio do zastosowanej dawki detoksykanta o 17% ($0,75\text{mM Ca}$) oraz 3% (1mM Ca), zaś korzeni odpowiednio o 6 i 34%. Wzrost IT dla korzeni kukurydzy wynosił 37% ($0,75\text{mM Ca}$) oraz 1% (1mM Ca). U cukini, fasoli, sałaty i pędu kukurydzy omawiany zabieg wpłynął na niewielkie, nie przekraczające 5%, zmiany indeksu tolerancji siewek.

Na uwagę zasługuje 5% wzrost indeksu tolerancji pędu gorczycy w obecności wapnia w koncentracji $0,75$ lub 1mM Ca (tab. 3).

Przedstawiona w tabeli 2 analiza regresji wielorakiej w postaci funkcji y opisuje badane zmienne zależne, tj. wyniki pomiarów biometrycznych części nadziemnych i korzeni siewek badanych gatunków roślin w procencie wyrażonym za pomocą liczby R^2 . Zależności dotyczące pierwszej zmiennej tzn. wyników pomiarów biometrycznych części nadziemnych są objaśniane równaniami regresji najdokładniej, bo aż w 98% dla siewek fasoli, zaś najmniej dokładnie dla siewek sałaty ($R^2 = 76\%$). Natomiast funkcja y opisująca drugą badaną zmienną, tj. wyniki pomiaru biometrycznego korzeni siewek badanych gatunków roślin najbardziej precyzyjnie ilustruje zależności odnoszące się do korzeni siewek gorczycy ($R^2 = 98\%$), zaś najmniej precyzyjnie do siewek kukurydzy ($R^2 = 83\%$). Warto również odnotować, że dla każdego z badanych gatunków roślin funkcje opisujące obydwa badane zmienne mają postać funkcji kwadratowej (tab. 2).

DYSKUSJA I WNIOSKI

Współzależność rytmicznego wzrostu organów regulowana jest przez czynniki środowiska i w zależności od charakteru, czasu działania oraz natężenia czynnika zmiany we wzroście elongacyjnym poszczególnych organów nie zawsze przebiegają w skorelowanym tempie. Jednym ze wskaźników wrażliwości organów roślin na czynnik środowiska jest indeks tolerancji (IT). B a k e r (1987) omawia szereg metod testowania tolerancji, m. in. ocenę ilościową hamującego wpływu jonów metalu na wzrost wydłużeniowy korzenia. Technika ta, rozwinięta przez W i l k i n s a (1957) jest powszechnie stosowana (W o ź n y, J e r c z y Ń s k a, 1991; W o ź n y 1995). W prezentowanej pracy zastosowano jeden z wariantów metody podanej przez W i l k i n s a (1978). Jest nią metoda pomiarów paralelnych polegająca na równoległym dokonywaniu pomiarów na dwóch grupach roślin: rosnących w środowisku kontrolnym i w roztworze metalu o określonym stężeniu. Obserwując wzrost siewki w warunkach środowiska skażonego niklem zauważamy ścisłą współzależność w rozwoju pędu nadziemnego i korzenia. Redukcja elongacji korzenia jest jedną z pierwszych makroskopowych reakcji roślin na warunki stresowe środowiska, także na metale ciężkie, w tym nikiel. Wynika ona zarówno z zahamowania mitoz w merystemie wierzchołkowej korzenia, jak też z ograniczenia elongacji ścian komórek powstałych po podziałach mitotycznych (P u n z, S i e g h a r d t, 1993; M o l a s, 1997b). Również w badaniach przedstawionych w niniejszej pracy w środowisku skażonym niklem stwierdzono istotny spadek długości pędu i korzeni siewek badanych gatunków roślin. Reasumując należy stwierdzić, że pomiar długości pędów i korzeni siewek dokonany po upływie 48h od oznaczenia zdolności kiełkowania nasion wskazał na znaczne zróżnicowanie we wzroście elongacyjnym tych organów w zależności od poziomu skażenia środowiska inkubacji siewek niklem i gatunku rośliny. Wykazano istotny spadek przyrostu elongacyjnego ww. organów wszystkich badanych gatunków roślin zarówno w seriach zawierających 0,03 jak i 0,06mM Ni.

Uzyskane wyniki pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Wrażliwość badanych gatunków roślin na nikiel wyrażona za pomocą indeksu tolerancji kształtowała się następująco: *Cucurbita pepo* conv. *giromontiina* L. > *Lactuca sativa* L. > *Sinapis alba* L. > *Spinacia oleracea* L. = *Zea mays* var. *saccharata* Kcke. > *Phaseolus vulgaris* L.

2. Zastosowanie zwiększonych koncentracji żelaza (0,1mM Fe), mające na celu złagodzenie toksycznego wpływu niklu, wpłynęło na statystycznie udowodnioną poprawę wzrostu elongacyjnego siewek *Zea mays* var. *saccharata* Kcke. niezależnie od skażenia środowiska odżywczego jonami Ni^{2+} oraz *Sinapis alba* L. i *Phaseolus vulgaris* L. przy koncentracji 0,06mM Ni.

3. Z dokonanych pomiarów biometrycznych siewek wynika, że na ogół bardziej skuteczna w łagodzeniu toksyczności niklu, niezależnie od zastosowanego stężenia tego metalu, okazała się koncentracja wapnia 0,75mM niż 1mM Ca. Wprowadzenie 0,75mM Ca w celu fitostabilizacji 0,03mM niklu okazało się skuteczne w odniesieniu do siewek *Sinapis alba* L. i *Phaseolus vulgaris* L., korzeni *Zea mays* var. *saccharata* Kcke. i *Lactuca sativa* L. oraz pędu *Cucurbita pepo* conv. *giromontiina* L., zaś 0,06mM Ni – siewek *Zea mays* var. *saccharata* Kcke. Natomiast aplikacja 1mM Ca przyczyniła się do poprawy wzrostu elongacyjnego korzeni *Zea mays* var. *saccharata* Kcke. (0,03mM Ni) oraz korzeni *Spinacia oleracea* L. (0,06mM Ni).

LITERATURA

- Baker A. 1987. Metal tolerance. *New Phytol.* 106:(Suppl.), 93-111.
- Dorywalski J., Wojciechowicz M., Bartz J. 1964. Metodyka oceny nasion. PRWiL. Warszawa.
- Duczmal K. W. 1993. Nasiennictwo ogrodnicze. Wydawnictwa Dydaktyczne AR, Poznań.
- Fergusson J. E. 1990. Chemistry, Environmental Impact and Health Effect. The Heavy Elements. Pergamon Press.
- Jasiewicz Cz., Sendor R., Buczek J. 1997. Zawartość Cd i Ni w wybranych gatunkach warzyw uprawianych w ogrodach działkowych Sosnowca. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 448b:87-92.
- Krupa Z., Siedlecka A., Maksymiec W., Baszyński T. 1993. *In vivo* response on photosynthetic apparatus of *Phaseolus vulgaris* L. to nickel toxicity. *J. Plant Physiol.* 142: 664-668.
- Malepszy S., Niemirowicz-Szczytt K., Przybecki Z. 1989. Biotechnologia w genetyce i hodowli roślin. PWN. Warszawa.
- Mishra D., Kar M. 1974. Nickel in plant growth and metabolism. *Bot. Rev.* 4:395-452.
- Molas J. 1997a. Ultrastructural response of cabbage outer leaf mesophyll cells (*Brassica oleracea* L.) to excess of nickel. *Acta Soc. Bot. Pol.* 66:307-317.
- Molas J. 1997b. Zakres tolerancji oraz granice i symptomy toksyczności jonowej i chelatowej formy niklu u roślin kapusty (*Brassica oleracea* L.). *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 448b:203-209.
- Punz W. F., Sieghardt H. 1993. The response of roots of herbaceous plant species to heavy metals. *Environ. and Exp. Bot.* 33:85-98.
- Ruszkowska M., Wojcieśka-Wyskupajtyś U. 1996. Mikroelementy – fizjologiczne i ekologiczne aspekty ich niedoborów i nadmiarów. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln.* 434: 1-11.
- Szymańska M., Matraszek R. 1996. Zawartość żelaza w roślinach bobu w zależności od poziomu niklu w podłożu. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 434:805-809
- Szymańska M., Matraszek R., Świąder A. 1997. The disturbances of root processes affected by nickel on the example of *Sinapis alba*. *Acta Physiol. Plant.* 19 (2): 241 (Suppl.).
- Wilkins D. A. 1957. A technique for the measurement of lead tolerance in plants. *Nature*, 180: 37-38.
- Wilkins D. A. 1978. The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root growth. *New Phytol.* 80: 623-633.
- Witczak St., Adamczyk A. 1995. Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. PIOŚ. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa.
- Woźny A., Jerczyńska E. 1991. The effect of lead on early stages of *Phaseolus vulgaris* L. growth in vitro conditions. *Biologia Plantarum* 33:32-39.
- Woźny A. 1995. Ołów w komórkach roślinnych – pobieranie, reakcje, odporność. Wydawnictwo Sorus. Uniwersytet im. A. Mickiewicza. Poznań.

Wrażliwość roślin na nikiel w warunkach różnej koncentracji żelaza lub wapnia w środowisku odżywczym

Streszczenie

Na podstawie indeksu tolerancji badano wrażliwość sześciu gatunków roślin warzywnych we wczesnych fazach wzrostu na nikiel. Ponadto podjęto próbę fitostabilizacji niklu przez zwiększoną aplikację żelaza lub wapnia. W doświadczeniu przeprowadzonym na szalkach Petriego zastosowano nikiel ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) w stężeniach: 0; 0,03 lub 0,06mM, żelazo (cytrynian Fe^{2+}) wprowadzono w koncentracji 0,05 lub 0,10mM, a wapń (CaCO_3) 0,50; 0,75 lub 1mM. Wrażliwość badanych gatunków roślin na nikiel wyrażona za pomocą indeksu tolerancji kształtowała się następująco: *Cucurbita pepo* conv. *giromontiina* L. > *Lactuca sativa* L. > *Sinapis alba* L. > *Spinacia oleracea* L. = *Zea mays* var. *saccharata* Kcke > *Phaseolus vulgaris* L. Korzystny, statystycznie udowodniony efekt zabiegu mającego na celu ograniczenie toksycznego wpływu niklu (0,03 lub 0,06mM Ni) przez wprowadzenie zwiększonych koncentracji żelaza (0,10mM Fe) wyrażający się poprawą wzrostu elongacyjnego uzyskano u *Zea mays* var. *saccharata* Kcke. niezależnie od skażenia środowiska odżywczego niklem oraz *Sinapis alba* L. i *Phaseolus vulgaris* L. przy koncentracji niklu 0,06mM. Wprowadzenie 0,75mM Ca w celu fitostabilizacji 0,03mM niklu okazało się skuteczne dla siewek *Sinapis alba* L. i *Phaseolus vulgaris* L., korzeni *Zea mays* var. *saccharata* Kcke i *Lactuca sativa* L. oraz pędu *Cucurbita pepo* conv. *giromontiina* L., zaś 0,06mM Ni – siewek *Zea mays* var. *saccharata* Kcke. Natomiast aplikacja 1mM Ca przyczyniła się do poprawy wzrostu elongacyjnego korzeni *Zea mays* var. *saccharata* Kcke. (0,03mM Ni) oraz korzeni *Spinacia oleracea* L. (0,06mM Ni).