ZESZYTY PROBLEMOWE POSTĘPÓW NAUK ROLNICZYCH 2002 z. 488: 223–232

PORÓWNANIE WPŁYWU NIKLU W FORMIE NIEORGANICZNEJ I CHELATOWEJ NA KIEŁKOWANIE ZIARNIAKÓW JĘCZMIENIA JAREGO (*Hordeum vulgare* L.)[1]

Jolanta Molas

Zakład Biologii Roślin, Instytut Nauk Rolniczych w Zamościu,
Akademia Rolnicza w Lublinie

Wstęp

Wpływ metali ciężkich na kiełkowanie nasion zależy od wielu czynników, w tym m.in. od natury chemicznej metalu, jego formy i stężenia w podłożu, obecności jonów konkurencyjnych oraz odczynu i temperatury podłoża. Według badań FARGŠOVEJ [1994] toksyczność metali ciężkich w fazie kiełkowania nasion gorczycy białej *Sinapis alba* L. była różna, zależała od mobilności metalu i przedstawiała się następująco: Cr = Hg > Cd > Pb. Także według badań PĹHLSSON [1989] Pb oddziaływał znacznie mniej toksycznie na kiełkujące nasiona roślin wyższych niż Cd, Cu i Zn, czyli metale o większej mobilności niż Pb. Nikiel jest metalem mobilnym, w koncentracjach niskich (śladowych) stymuluje kiełkowanie nasion niektórych gatunków roślin [MISHRA, KAR 1974], natomiast w koncentracjach wysokich hamuje proces kiełkowania [MISHRA, KAR 1974; ESPEN i in. 1997; ROUT i in. 2000]. W koncentracjach wysokich metal ten toksycznie wpływa na komórki zarodka zarówno na etapie fazy biochemicznej procesu kiełkowania [ESPEN i in. 1997], jak też na etapie fazy fizjologicznej, w której różnicowany jest korzeń zarodkowy i zależnie od gatunku hypokotyl lub epikotyl [MISHRA, KAR 1974; ROUT i in. 2000]. Redukuje on aktywność mitotyczną komórek merystematycznych, hamuje ich elongację, zakłóca histogenezę, a w konsekwencji zaburza lub nawet hamuje proces organogenezy [MISHRA, KAR 1974; WOOLHOUSE 1983].

Dotychczasowe badania eksperymentalne, dotyczące wpływu niklu na kiełkowanie nasion prowadzone były na jego formach nieorganicznych, najczęściej na formie chlorkowej i siarczanowej [MISHRA, KAR 1974; ESPEN i in. 1997; ROUT i in. 2000], dysocjujących w środowisku wodnym do wolnego jonu (Ni^{+2}) i nietrwałych kompleksów wodnych [HAY 1987]. Jednakże wiadomo, że nikiel, podobnie jak inne metale grup przejściowych, stosunkowo łatwo tworzy związki kompleksowe, w tym kompleksy chelatowe [HAY 1987], stąd też w roztworze glebowym występuje on zarówno w formie wolnego jonu, jak i jonów kompleksowych [ADRIANO 1986; KABATA-PENDIAS, PENDIAS 1999] i w tych formach w środowisku naturalnym wpływa na kiełkowanie nasion.

---

[1] Badania wykonano w ramach grantu KBN nr 5 PO6H 05419.

Materiał i metody

Ziarniaki jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) odmiany 'Poldek' sterylizowano przez 5 minut w 1% roztworze NaOCl i po płukaniu w sterylnej wodzie redestylowanej wykładano je na płytki Petriego wyłożone bibułą filtracyjną Whatmann nr 10 (po 20 ziarniaków na płytkę o średnicy 15 cm). Kiełkowanie ziarniaków przeprowadzono w zredukowanej do poziomu ¼ zawartości każdego składnika w pożywce Hoaglanda [HOAGLAND, ARNON 1950]. Nikiel w formie nieorganicznej, tj. $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ oraz w formie kompleksu z kwasem etylenodiaminoczterooctowym, tj. Ni(II)-EDTA (metal do ligandu w stosunku 1:1) dodawano do pożywki w koncentracjach 85, 120, 240 i 345 $\mu mol \cdot dm^{-3}$. Odczyn pożywek po dodaniu niklu doprowadzano do pH 5,2 i 7,2. Początkowo, tj. przez pierwsze trzy doby kiełkowanie ziarniaków prowadzono w termostacie, w temperaturze 20°C i wilgotności względnej 72%, a następnie płytki przeniesiono do fitotronu o identycznych warunkach termiczno-wilgotnościowych, z dostępem światła (16 godzinny fotoperiod) o natężeniu 75 $W \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, w celu umożliwienia syntezy chlorofilu w rozwijającym się pierwszym liściu właściwym. Oznaczono następujące wskaźniki kiełkowania nasion:

- żywotność zarodków – testem tetrazolinowym (test TTC) [MARKS i in. 1985; ISTA 1999]. Po 72 godzinach kiełkowania w środowisku z dodatkiem niklu ziarniaki przełożono do wody destylowanej i wielokrotnie je płukano, a następnie barwiono przez 3 godziny w 0,5% roztworze chlorowodorku 2,3,5-trójfenylotetrazoliny. Roztwór TTC przygotowano w buforze fosforanowym o pH 7. W reakcji tej zarodki żywe barwią się na kolor różowo-czerwony, a martwe pozostają niezabarwione z uwagi na to, że bezbarwna tetrazolina tylko w żywej tkance zawierającej dehydrogenazy ulega redukcji do czerwonego trójfenyloformazonu [ISTA 1999]. Test histochemiczny poprzedzono pomiarem intensywności oddychania kiełkujących ziarniaków na podstawie ilości pobranego tlenu, który przeprowadzono przy użyciu respiratora Gilsona (MED-ELECTR.);
- zdolność kiełkowania nasion – po 7 dobach kiełkowania ziarniaków na bibule [ISTA 1999];
- liczbę uzyskanych siewek oraz przeprowadzono ocenę ich jakości biologicznej według klasyfikacji ISTA [ISTA 1985a, 1985b; PERRY 1987]. Ocenę siewek przeprowadzono po 10 dobach od wyłożenia ziarniaków na bibułę. Okres kiełkowania przedłużono więc z 7 [ISTA 1999] do 10 dni po to, aby stopień wykształcenia pierwszego liścia umożliwił pomiar fluorescencji chlorofilu. Siewki uszkodzone (brak plumuli, zredukowana liczba i długość korzeni zarodkowych, organy morfologicznie zdeformowane, spiralnie skręcone i zmarniałe, charakteryzujące się nieskorelowanym rozwojem, przebarwione, znekrotyzowane, chlorotyczne) zaklasyfikowano do tzw. siewek nienormalnych, niezdolnych do dalszego rozwoju. Pomiar fluorescencji chlorofilu pierwszego liścia właściwego przeprowadzono za pomocą przenośnego fluorymetru (CF 1000). W tym celu siewki z wykształconym liściem właściwym zaciemniano na okres 25 minut przed pomiarem, a następnie w warunkach ich wzrostu (tj. w fitotronie) zmierzono fluorescencję zmienną (F_v) oraz fluorescencję maksymalną (F_m). Stosunek F_v/F_m jest miarą wydajności kwantowej fotosystemu PSII [KRUPA i in. 1993; BIELECKI i in. 1996].

Wyniki badań opracowano statystycznie z zastosowaniem analizy wariancji i przedziałów ufności Tukey'a przy poziomie istotności 0,05.

Wyniki i dyskusja

Nikiel w obu zastosowanych w badaniach formach chemicznych zarówno w środowisku o pH 5,2, jak i pH 7,2 tylko w koncentracji najniższej z zastosowanych w doświadczeniu, tj. 85 μmol·dm^{-3}, nie wpłynął istotnie na żywotność zarodków i zdolność kiełkowania ziarniaków jęczmienia jarego odmiany 'Poldek' (tab. 1). Nie wpłynął także istotnie na zdolność ziarniaków do wytworzenia siewek, aczkolwiek istotnie wpłynął na ich jakość biologiczną (tab. 2). W serii tej w stosunku do serii kontrolnej wzrosła liczba siewek uszkodzonych, o ograniczonej zdolności do dalszego rozwoju, jak też zmniejszyła się sprawność fotosyntetyczna pierwszego liścia właściwego (tab. 2). W koncentracjach wyższych, tj. 120–345 μmol·dm^{-3}, metal ten negatywnie wpływał zarówno na proces kiełkowania ziarniaków, jak też na liczbę oraz jakość biologiczną pozyskiwanych siewek. W zakresie tych stężeń niklu, wraz ze wzrostem jego koncentracji wzrastał stopień redukcji intensywności oddychania kiełkujących ziarniaków jęczmienia oraz wzrastała liczba zarodków częściowo znekrotyzowanych, a nawet zupełnie obumarłych (tab. 1). Zarodki te bądź to w ogóle nie barwiły się w roztworze tetrazoliny, bądź barwiły się nierównomiernie, tzn. w tkankach zarodka identyfikowano zarówno miejsca zabarwione, jak i niezabarwione (nekrotyczne). Mikroskopowo, nekrozy identyfikowano zarówno w części zarodka różnicującej się w organ nadziemny siewki, tj. plumulę (koleoptyle + pierwszy liść właściwy), jak też w korzenie zarodkowe. Zarodki uszkodzone liczniej występowały w środowisku o odczynie kwaśnym (pH 5,2) niż obojętnym (pH 7,2), także liczniej w obecności niklu nieorganicznego niż chelatowego (tab. 1).

Nikiel w koncentracjach wyższych (tj. 120–345 μmol·dm^{-3}) istotnie redukował także zdolność kiełkowania ziarniaków badanej odmiany jęczmienia, przy czym w stopniu większym w formie nieorganicznej (siarczanowej) niż w formie chelatowej (Ni(II)-EDTA), tab. 1. Stopień redukcji tego wskaźnika był także większy w środowisku kwaśnym (pH 5,2) niż zbliżonym do obojętnego (pH 7,2), tab. 1.

Można wysunąć sugestię, że nikiel niezależnie od formy chemicznej w jakiej występuje w środowisku, o ile występuje w koncentracjach wysokich, to toksycznie wpływa na komórki zarodka już w biochemicznej fazie kiełkowania nasion. W fazie tej zanotowano istotną redukcję aktywności oddechowej ziarniaków, a nawet – jak wskazywał wynik testu TTC – obumieranie komórek zarodka. Wyniki te potwierdzają badania ESPEN'A i in. [1997], którzy po 48 godzinach kiełkowania nasion rzodkiewki w środowisku zawierającym wysokie koncentracje niklu zanotowali istotną redukcję ich aktywności biochemicznej, przejawiającą się w redukcji ich aktywności oddechowej oraz w zahamowaniu biosyntezy kwasów nukleinowych.

Nikiel w obu zastosowanych w badaniach formach chemicznych w koncentracjach > 85 μmol·dm^{-3} negatywnie wpływał na zdolność ziarniaków do wytworzenia siewek, jak też na ich jakość biologiczną. W przedziale stężeń 120–345 μmol·dm^{-3}, wraz ze wzrostem koncentracji niklu w obu zastosowanych w badaniach formach chemicznych wzrastał poziom redukcji liczby pozyskiwanych sie-

Tabela 1; Table 1

Porównanie wpływu niklu w formie nieorganicznej i chelatowej na wskaźniki kiełkowania oraz intensywność oddychania kiełkujących ziarniaków jęczmienia jarego

The influence of inorganic and chelatic nickel forms on germination indices and respiration intensity of sprouting barley grains

Parametr Parameter	pH	Koncentracja niklu w formie $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ Ni concentration as $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ ($\mu mol \cdot dm^{-3}$)				Koncentracja niklu w formie Ni(II)-EDTA Ni concentration as Ni(II)-EDTA ($\mu mol \cdot dm^{-3}$)			
		85,0	120,0	240,0	345,0	85,0	120,0	240,0	345,0
Intensywność oddychania – A ($\mu mol\ O_2 \cdot h^{-1} \cdot ziarniak^{-1}$) Respiration intensity – A ($\mu mol\ O_2 \cdot h^{-1} \cdot grain^{-1}$)	5,2	0,85 (82,5)	0,71 (68,9)	0,56 (54,4)	0,34 (33,1)	0,96 (93,2)	0,92 (89,3)	0,81 (78,6)	0,67 (65,0)
	7,2	0,92 (86,0)	0,91 (85,05)	0,65 (60,7)	0,47 (43,9)	0,97 (90,65)	0,97 (90,6)	0,89 (83,2)	0,72 (67,3)
Żywotność zarodków – B (%) Germ vitality – B (%)	5,2	97,2 (98,8)	84,2 (85,6)	68,5 (69,6)	57,8 (58,7)	96,4 (98,0)	97,2 (98,8)	92,3 (93,8)	81,6 (82,9)
	7,2	96,8 (98,2)	86,4 (87,6)	74,8 (75,7)	65,2 (66,1)	96,8 (98,2)	96,3 (97,7)	93,1 (94,4)	89,8 (91,1)
Zdolność kiełkowania – C (%) Germination capacity – C (%)	5,2	91,6 (97,3)	74,2 (78,8)	56,4 (59,9)	36,7 (39,0)	94,2 (100,1)	84,6 (89,9)	73,8 (78,4)	61,5 (65,3)
	7,2	93,2 (97,9)	80,8 (84,9)	67,2 (70,6)	48,7 (51,1)	94,0 (98,7)	89,0 (93,5)	77,4 (81,3)	67,0 (70,4)

$NIR_{0,05}$ dla A = 0,047, B = 5,7, C = 3,2
$LSD_{0.05}$ for A = 0.047, B = 5.7, C = 3.2
W nawiasach podano procent kontroli; Percentage of control in parentheses

Tabela 2; Table 2

Porównanie wpływu niklu w formie nieorganicznej i chelatowej na liczbę pozyskiwanych siewek jęczmienia jarego oraz na ich jakość biologiczną

Comparison of inorganic and chelatic nickel influence on the number and biological quality of obtained barley seedlings

Parametr Parameter	pH	Koncentracja niklu w formie $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ Ni concentration as $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ ($\mu mol \cdot dm^{-3}$)				Koncentracja niklu w formie Ni(II)-EDTA Ni concentration as Ni(II)-EDTA ($\mu mol \cdot dm^{-3}$)			
		85,0	120,0	240,0	345,0	85,0	120,0	240,0	345,0
Procent siewek (ogółem) – A Percentage of seedlings (total) – A	5,2	83,2 (97,5)	61,3 (71,9)	40,7 (47,7)	27,8 (32,6)	91,0 (106,7)	85,0 (99,6)	66,7 (78,2)	50,5 (59,2)
	7,2	87,6 (101,8)	70,5 (82,0)	48,6 (56,5)	36,7 (42,7)	91,5 (106,4)	89,0 (103,5)	72,4 (84,2)	56,5 (65,7)
Procent siewek nienormalnych – B Percentage of abnormal seedlings – B	5,2	11,8 (153,2)	23,4 (303,9)	32,5 (422,0)	56,2 (729,9)	5,8 (75,3)	10,4 (135,1)	15,6 (202,6)	32,7 (424,7)
	7,2	8,5 (146,5)	17,4 (300,0)	30,3 (522,4)	44,0 (658,6)	4,6 (80,7)	6,2 (106,9)	14.3 (146,5)	27,4 (472,4)
Fluorescencja chlorofilu (Fv/Fm) – C Chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) – C	5,2	0,712 (91,0)	0,643 (82,2)	0,612 (78,3)	0,576 (73,6)	0,742 (94,9)	0,734 (93,9)	0,707 (90,4)	0,624 (79,8)
	7,2	0,754 (96,2)	0,667 (85,1)	0,643 (82,0)	0,617 (78,7)	0,746 (95,1)	0,745 (95,0)	0,720 (91,8)	0,683 (87,1)

$NIR_{0,05}$ dla A = 5,1, B = 4,3, C = 0,027; $LSD_{0.05}$ for A = 5.1, B = 4.3, C = 0.027

W nawiasach podano procent kontroli; Percentage of control in parentheses

wek, przy czym w stopniu większym w środowisku o odczynie kwaśnym niż obojętnym oraz w środowisku z dodatkiem niklu w formie nieorganicznej niż chelatowej (tab. 2). Siewki uszkodzone, o niskiej jakości biologicznej, o ograniczonej zdolności do dalszego rozwoju znacznie liczniej występowały w serii z dodatkiem niklu nieorganicznego niż chelatowego, także liczniej w środowisku kwaśnym niż obojętnym (tab. 2). Anormalność pozyskiwanych siewek wynikała głównie z zahamowania różnicowania plumuli (w tym przypadku rozwój rośliny zahamowany był na etapie kiełka), redukcji liczby korzeni zarodkowych i ich uszkodzenia. Merystemy wierzchołkowe korzeni zarodkowych były przebarwione na brązowo, co wskazywało na podwyższony poziom związków fenolowych, korzenie te były silnie skrócone, pogrubione, morfologicznie zdeformowane wzdłuż osi, miejscami (głównie w strefie merystematycznej) znekrotyzowane. Według ISTA [1985a, 1985b] i PERRY'EGO [1987] siewki wykazujące takie uszkodzenia klasyfikowane są do tzw. siewek nienormalnych, na ogół nie są zdolne do dalszego rozwoju.

Nikiel w wysokich koncentracjach redukował sprawność aparatu fotosyntetycznego siewek mierzoną wydajnością kwantową fotosystemu PSII (tab. 2), nawet tych, które nie wykazywały anomalii morfologicznych, czy też były uszkodzone w stopniu małym i średnim. Redukcja tego wskaźnika (Fv/Fm), podobnie jak innych oznaczanych wskaźników, była większa w obecności formy nieorganicznej niklu niż chelatowej oraz w środowisku kwaśnym niż obojętnym (tab. 2). Z dość licznych badań wiadomo, że aparat fotosyntetyczny roślin wyższych jest szczególnie bardzo wrażliwy na toksyczne działanie niklu, w tym szczególnie fotosystem PSII [MISHRA, KAR 1974; MOHANTY i in. 1989; KRUPA i in. 1993; BIELECKI i in. 1996]. Wiadomo także, że redukcja sprawności aparatu fotosyntetycznego na każdym poziomie jego organizacji jest jednym z głównych czynników ograniczających wzrost i plonowanie roślin.

Jak wskazują wyniki przeprowadzonych badań, toksyczny wpływ niklu na proces kiełkowania nasion roślin wyższych oraz na liczbę i jakość biologiczną pozyskiwanych z nich siewek zależy od koncentracji i formy chemicznej w jakiej pierwiastek ten występuje w środowisku oraz od odczynu podłoża. Z wcześniejszych badań autorki [MOLAS 1997, 2002] i innych autorów [ESKEW i in. 1984; ALBASEL, COTTENIE 1985] wiadomo, że fitoprzyswajalność niklu z formy nieorganicznej (siarczanowej) jest znacznie większa niż z formy chelatowej Ni(II)-EDTA, stąd też fitotoksyczność formy nieorganicznej tego pierwiastka jest także większa niż chelatowej. Należy zaznaczyć, że nieorganiczne formy metali ciężkich, w tym niklu, w środowisku wodnym dysocjują do wolnego jonu, czyli do formy w której metale pobierane są przez rośliny i transportowane w poprzek błon komórkowych, natomiast pobieranie metali z formy chelatowej poprzedzone jest dysocjacją kompleksu (MeL) bądź to na błonach komórkowych, bądź jeszcze w ryzosferze [LAURIE i in. 1991], co ogranicza ich biodostępność, a jednocześnie zmniejsza fitotoksyczność. Wiadomo, że na fitoprzyswajalność niklu ma wpływ odczyn podłoża; przyswajalność jonów Ni^{2+} jest większa w środowisku kwaśnym niż obojętnym czy zasadowym, w którym jony te absorbowane są przez wodorotlenki żelaza i manganu [KABATA-PENDIAS, PENDIAS 1999]. Odczyn podłoża może wpływać także na fitoprzyswajalność niklu z kompleksów organicznych (w tym z kompleksów chelatowych) z uwagi na to, że zależnie od pH roztworu zmienia się ich stała trwałości *pK* [LIPIEC, SZMAL 1980]. Według badań VON WIRIEN i in. [1996] oraz MOLAS [2002] fitoprzyswajalność pierwiastków z grupy metali, w tym niklu, z ich

form kompleksowych zmniejsza się wraz ze wzrostem stałej trwałości kompleksu. Stąd też można sugerować, że skoro stała trwałości kompleksu Ni(II)-EDTA wzrasta wraz ze wzrostem pH roztworu [LIPIEC, SZMAL 1980], to wraz ze wzrostem pH środowiska zmniejsza się fitoprzyswajalność niklu z tej formy i w konsekwencji zmniejsza się jego fitotoksyczność.

Wnioski

1. Nikiel w formie nieorganicznej ($NiSO_4 \cdot 7H_2O$) i chelatowej (Ni(II)-EDTA) niezależnie od odczynu środowiska w najniższej z zastosowanych w badaniach koncentracji, tj. 85 $\mu mol \cdot dm^{-3}$, nie spowodował istotnego zróżnicowania żywotności zarodków i zdolności kiełkowania ziarniaków jęczmienia jarego odmiany 'Poldek'. Jednakże spowodował istotny wzrost liczby siewek nienormalnych w stosunku do kontroli oraz istotnie obniżył sprawność aparatu fotosyntetycznego ich pierwszego liścia właściwego.

2. W koncentracjach wyższych (120–345 $\mu mol \cdot dm^{-3}$) nikiel zarówno w formie nieorganicznej, jak i chelatowej istotnie redukował żywotność i zdolność kiełkowania nasion oraz intensywność oddychania kiełkujących ziarniaków badanej odmiany jęczmienia. Zredukował także jakość biologiczną pozyskanych siewek, w tym ich sprawność fotosyntetyczną. Stopień redukcji wszystkich tych wskaźników wzrastał wraz ze wzrostem stężenia tego metalu w podłożu.

3. Nikiel w formie nieorganicznej był bardziej toksyczny w stosunku do kiełkujących ziarniaków jęczmienia niż nikiel w formie chelatowej, a obie formy badanego pierwiastka były bardziej toksyczne w środowisku kwaśnym (pH 5,2) niż obojętnym (pH 7,2).

Literatura

ADRIANO D.C. 1986. *Trace elements in the terrestrial environment.* Wyd. Springer-Verlag, New York: 533 ss.

ALBASEL N., COTTENIE A. 1985. *Heavy metals from contaminated soils as affected by peat, lime and chelates.* Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 386–390.

BIELECKI K., SPIAK Z., GRZYŚ E. 1996. *Wpływ niklu na fluorescencję chlorofilu w liściach pszenicy w końcowym okresie wegetacji.* Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 434: 985–989.

ESKEW D.L., WELCH R.M., NORWELL W.A. 1984. *Nickel in higher plants. Further evidence for an essential role.* Plant Physiol. 76: 691–693.

ESPEN L., PIROVANO L., COCUCCI S.M. 1997. *Effects of Ni^{2+} during early phases of radish (Raphanus sativus) seed germination.* Environm. Exp. Bot. 38: 187–197.

FARGŠOVÁ A. 1994. *Effect of Pb, Cd, Hg, As and Cr on germination and root growth of Sinapis alba seeds.* Bull. Environ. Contam. Toxicol. 52: 452–456.

HAY W. 1987. *Bio-Inoorganic Chemistry.* Wyd. Ellis Horwood Ltd., England: 257 ss.

HOAGLAND D.R., ARNON D.I. 1950. *The water culture method for growing plants without soil.* Col. Agric. Exp. Stn. Circ. 347: 1–32.

ISTA 1985a. *International Seed Testing Association. International rules for seed testing.* Rules 1985. Seed Sci. Technol. 13: 299–355.

ISTA 1985b. *International Seed Testing Association. International rules for seed testing.* Annexes 1985. Seed Sci. Technol. 13: 356–513.

ISTA 1999. *International Seed Testing Association. International rules for seed testing.* Seed Sci. Technol. 27: 333 ss.

KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych.* Wyd. PWN, Warszawa: 344–354.

KRUPA Z., SIEDLECKA A., MAKSYMIEC W., BASZYŃSKI T. 1993. *In vivo response of photosynthetic apparatus of Phaseolus vulgaris L. to nickel toxicity.* J. Plant Physiol. 142: 664–668.

LAURIE S.H., TANCOCK N.P., MCGRATH S.P., SANDERS J.R. 1991. *Influence of complexation on the uptake by plants of iron, manganese, cooper and zinc.* I. *Effect of EDTA in a multi-metal and computer stimulation study.* J. Exp. Bot. 42: 509–513.

LIPIEC T., SZMAL Z.F. 1980. *Chemia analityczna z elementami analizy instrumentalnej.* Wyd. PZWL, Warszawa: 80–98.

MARKS G.C., BLOOM W.W., BOYLE J.G. 1985. *A rapid method for the determination of barley seed viability.* Proc. Indiana Acad. Sci. 94: 117–119.

MISHRA D., KAR M. 1974. *Nickel in plant growth and metabolism.* Bot. Rev. 40: 395–452.

MOHANTY N., VASS J., DEMETER S. 1989. *Impairment of photosystem 2 activity at the level secondary quinone electron acceptor in chloroplasts treated with cobalt, nickel and zinc ions.* Physiol. Plant. 76: 389–390.

MOLAS J. 1997. *Zakres tolerancji oraz granice i symptomy toksyczności jonowej i chelatowej formy niklu u roślin Brassica oleracea L.* Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 448b: 203–209.

MOLAS J. 2002. *Changes of chloroplast ultrastructure and total chlorophyll concentration in cabbage leaves caused by excess of organic Ni(II) complexes.* Environ. Exp. Bot. 47: 115–126.

PÅHLSSON A.M. 1989. *Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants.* Water, Air, Soil Poll. 47: 287–319.

PERRY D.A. 1987. *Handbook of vigour test methods.* Wyd. ISTA, Zurich, Switzerland: 342 ss.

ROUT G.R., SAMANTARAY S., DAS P. 2000. *Effects of chromium and nickel on germination and growth in tolerant and non-tolerant populations of Echinchloa colona (L.) Link.* Chemosphere 40: 855–859.

VON WIREN N., MARSCHNER H., RÖMHELD V. 1996. *Roots of iron-efficient maize also absorb phytosiderophore-chelated zinc.* Plant Physiol. 111: 1119–1125.

WOOLHOUSE H.W. 1983. *Toxicity and tolerance in the responses of plant to metals,* w: *Encyclopedie of Plant Physiology.* (wyd.: Nobel O., Osmond P.S., Ziegler M.), Berlin-Springer: 245–300.

Słowa kluczowe: chelaty niklu, EDTA, fluorescencja chlorofilu, *Hordeum vulgare* L., kiełkowanie nasion, nikiel, siarczan niklu, zdolność kiełkowania nasion

Streszczenie

W warunkach laboratoryjnych porównano wpływ niklu w formie nieorganicznej ($NiSO_4 \cdot 7H_2O$) i chelatowej (Ni(II)-EDTA) na kiełkowanie ziarniaków jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) odmiany 'Poldek'. Nikiel w obu formach chemicznych w koncentracji 85 $\mu mol \cdot dm^{-3}$ zarówno w środowisku o pH 5,2, jak i pH 7,2 nie wpływał istotnie na proces kiełkowania ziarniaków badanej odmiany jęczmienia. Jednakże w koncentracjach wyższych (120–345 $\mu mol \cdot dm^{-3}$) istotnie redukował żywotność zarodków, intensywność ich oddychania oraz zdolność kiełkowania ziarniaków, jak też ich zdolność do wytworzenia siewek wartościowych biologicznie o sprawnym aparacie fotosyntetycznym pierwszego liścia właściwego. Stopień redukcji tych wskaźników wzrastał wraz ze wzrostem koncentracji niklu w podłożu i był większy w obecności nieorganicznej formy niklu niż chelatowej. Toksyczność obu badanych form niklu w stosunku do kiełkujących ziarniaków jęczmienia była większa w środowisku kwaśnym (pH 5,2) niż obojętnym (pH 7,2).

COMPARISON OF THE INFLUENCE OF INORGANIC AND CHELATIC NICKEL ON GERMINATION OF SPRING BARLEY (*Hordeum vulgare* L.) GRAINS

Jolanta Molas
Department of Plant Biology, Institute of Agricultural Sciences in Zamość, Agricultural University, Lublin

Key words: barley, chlorophyll fluorescence, EDTA, germination capacity, nickel, nickel chelates, nickel sulphate, seed germination

Summary

The influence of nickel in its inorganic ($NiSO_4 \cdot 7H_2O$) and chelatic (Ni(II)-EDTA) forms on germination of spring barley grains (*Hordeum vulgare* L.) of Poldek cultivar was compared under laboratory conditions. In both chemical forms and at low concentration (85 $\mu mol \cdot dm^{-3}$), at either pH 5.2 and pH 7.2, the nickel did not significantly influence the germination process in studied barley grains. However, at high concentrations (120–345 $\mu mol \cdot dm^{-3}$) nickel reduced significantly the vitality of germs, intensity of their breathing, germination capacity and vigour of the grains, what was determined on basis of number and biological quality (including the efficiency of photosynthetic apparatus) of obtained seedlings. Reduction degree of these indicators rose together with increasing nickel concentration in the substrate; the reduction was stronger at the presence of

inorganic nickel form than at the presence of chelatic form. The toxicity of both examined nickel forms to germinating barley grains was stronger at acid (pH 5.2) than at the neutral (pH 7.2) environment.

Dr Jolanta **Molas**
Zakład Biologii Roślin
Instytut Nauk Rolniczych
ul. Szczebrzeska 102
22–400 ZAMOŚĆ
e-mail: jmolas@inr.edu.pl