

ZMIANY ZAWARTOŚCI KWASU ASKORBINOWEGO W LIŚCIACH SAŁATY POD WPŁYWEM NIKLU W FORMIE NIEORGANICZNEJ I ORGANICZNEJ

Jolanta Molas

Instytut Nauk Rolniczych w Zamościu, Akademia Rolnicza w Lublinie

Wstęp

Nikiel należy do metali grup przejściowych i stosunkowo łatwo tworzy związki kompleksowe ze związkami organicznymi [HAY 1987]. W roztworze gębowym występuje on więc zarówno w formie jonu wolnego (Ni^{2+}), jak też w formie jonów kompleksowych, w tym m.in. w połączeniu z ligandami organicznymi [ADRIANO 1986; KABATA-PENDIAS, PENDIAS 1993]. W tych więc formach pierwiastek ten jest dostępny dla roślin. Nikiel w ilościach śladowych pełni rolę mikroelementu, wchodzi w skład ureazy i m.in. reguluje gospodarkę azotową roślin [DIXON i in. 1975, 1976]. Jednakże pierwiastek ten pobrany przez rośliny w nadmiarze zaburza szereg procesów metabolicznych i fizjologicznych, głównie proces fotosyntezy [MISHRA, KAR 1974; VAN ASSCHE, CLUSTERS 1990], uszkadza rośliny na wszystkich trzech poziomach ich organizacji, tj. na poziomie morfologicznym, anatomicznym i ultrastrukturalnym [L'HUILLIER i in. 1996; MOLAS 1997a, 1997b], w efekcie redukuje plon roślin i jego jakość biologiczną.

Jednym ze wskaźników jakości biologicznej roślin konsumpcyjnych (do których należy sałata) jest zawartość kwasu askorbinowego (KA), tj. witaminy C [MOSZCZYŃSKI, PYĆ 1999]. KA pełni wielorakie funkcje w metabolizmie roślin [SMIRNOFF 1996; MOSZCZYŃSKI, PYĆ 1999] oraz w metabolizmie zwierząt i człowieka [MOSZCZYŃSKI, PYĆ 1999]. Wiadomo, że metale ciężkie (do których należy nikiel) w koncentracjach wysokich wywołują w roślinach stres oksydacyjny [STROIŃSKI 1996; ŁATA 1998], a odporność roślin na ten stres m.in. uwarunkowana jest sprawnością ich enzymatycznego i nieenzymatycznego systemu antyoksydacyjnego [STROIŃSKI 1996]. KA jest jednym z głównych składników nieenzymatycznego systemu antyoksydacyjnego, przy czym jako antyoksydant działa on w koncentracjach wysokich, natomiast w koncentracjach niskich działa jako proksydant [LARSON 1988; LICZMAŃSKI 1988].

Material i metody

Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych. Rośliny sałaty (*Lactuca sativa* L.) odmiany Jana hodowano w kulturach wodnych w fitotronie,

przy 16 godz. fotoperiodzie o natężeniu światła $105 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, temperaturze $19\pm 1^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej ok. 75%. Siewki z pierwszymi liśćmi właściwymi (tworzącymi rozetę) umieszczano w plastikowych pojemnikach (po 2 w każdym) o pojemności 1 dm^3 , uprzednio napełnionych zmodyfikowaną przez L'HULLIER'A i in. [1996] pożywką Hoaglanda o pH 5,7. Zawartość każdego składnika zredukowana była do poziomu $\frac{1}{4}$ jego zawartości w pełnej pożywce Hoaglanda i kolejno wynosiła ($\text{mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$): Ca – 1, Mg – 0,25, K – 1,5, NH_4 – 0,5, NO_3 – 3,5, PO_4 – 0,5, SO_4 – 0,25; ($\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) Cl – 12,5; B – 6,25; Mn – 0,5; Zn – 0,5; Cu – 0,12; Mo – 0,12; Fe-EDTA – 5. Pożywkę tę uzupełniano nikiem w formie nieorganicznej, tj. w formie $\text{NiSO}_4\cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$ oraz w formie kompleksów organicznych, tj. Ni(II)Glu – kompleks niku z kwasem glutaminowym w stosunku molowym 1 : 1 i Ni(II)EDTA – kompleks niku z kwasem etylenodwuaminocteroocetowym (EDTA), metal do ligandu także w stosunku 1 : 1. Nikiel we wszystkich trzech formach wprowadzono do pożywek w koncentracji 20, 40, 80 i $120 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Zawartość kwasu askorbinowego oznaczono w liściach (tj. organach konsumpcyjnych sałaty) po 14 i 28 dobach wzrostu roślin w obecności niku. Zawartość KA oznaczono w świeżej masie liści jako sumę kwasu dehydro- i L-askorbinowego [RUTKOWSKA 1981]. Hodowlę roślin przeprowadzono w 2 powtórzeniach w czasie, a każdy wariant doświadczenia w 4 powtórzeniach. Zawartość KA w próbach roślinnych z każdego wariantu oznaczono więc w 8 powtórzeniach. Ocenę wyników przeprowadzono na podstawie analizy wariancji, testując testem Tukeya najmniejszą istotną statystycznie różnicę (NIR) przy $p=0,05$.

Wyniki i dyskusja

Po 14 dobach wzrostu roślin w wodnej pożywce Hoaglanda bez dodatku niku zawartość KA w liściach sałaty odmiany Jana mniej więcej odpowiadała średniej jego zawartości notowanej u odmian liściastych sałaty i wynosiła $172 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ św.m., natomiast w liściach roślin starszych, tj. po 28 dobach wzrostu roślin, zawartość KA była niższa i wynosiła $164 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ św.m. (tab. 1, 2). Zawartość witaminy C w liściach sałaty wynosi ok. $150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ św.m. [MOSZCZYŃSKI, PYĆ 1999], przy czym odmiany liściaste (do których należy odmiana Jana) i odmiany tworzące luźne główki na ogół zawierają jej więcej niż odmiany tworzące twarde główki [BORNA (red.) 1978]. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że nikiel wpływał na zawartość KA w liściach badanej odmiany sałaty, przy czym wpływ ten zdeterminowany był zarówno koncentracją, jak i formą chemiczną w jakiej pierwiastek ten występował w roztworze odżywczym roślin.

Zawartość KA w liściach badanej odmiany sałaty rosnących w obecności niku w formie nieorganicznej ($\text{Ni}_2\text{SO}_4\cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$) była istotnie (z wyjątkiem najniższej koncentracji) zredukowana w stosunku do jego zawartości w liściach roślin kontrolnych zarówno we wczesnej fazie rozwoju roślin, jak i w późniejszej fazie ich rozwoju wegetatywnego (tab. 1, 2). Stopień redukcji zawartości KA w liściach badanej odmiany sałaty wzrastał wraz ze wzrostem koncentracji niku w pożywce, jak też wraz z czasem jego oddziaływania na rośliny (tab. 1, 2).

Zawartość KA w roślinach rosnących w obecności niku w formie Ni(II)Glu także była zredukowana w stosunku do jego zawartości w roślinach kontrolnych (tab. 1, 2), aczkolwiek po 14 dobach traktowania roślin nikiem w tej formie w koncentracjach 20 i $40 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ redukcja ta nie była istotna statystycznie (tab.

1). Zawartość KA w liściach roślin rosnących w obecności Ni(II)Glu była w mniejszym stopniu zredukowana niż w liściach roślin rosnących w obecności niklu w formie nieorganicznej, z wyjątkiem koncentracji najwyższej z zastosowanych w badaniach (tab. 1, 2). Nikiel w formie Ni(II)Glu w koncentracji $120 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, spośród wszystkich trzech zastosowanych w badaniach jego form chemicznych, w stopniu największym redukował zawartość KA w badanych organach roślin sałaty (tab. 1, 2).

Tabela 1; Table 1

Zawartość kwasu askorbinowego (KA) w liściach roślin sałaty ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ św.m.) po 14 dobach wzrostu w obecności niklu w formie nieorganicznej i organicznej

Content of ascorbic acid (AA) in lettuce leaves ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ fresh matter) after 14 days of plant growth in medium with inorganic and organic nickel

Formy niklu Nickel forms	Koncentracja niklu; Nickel concentration ($\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$)				NIR _{0,05} LSD _{0,05}
	20,0	40,0	80,0	120,0	
Kontrola; Control	172 (100)				
Ni ₂ SO ₄ ·7 H ₂ O	167 (97,1)	151 (87,8)	134 (77,9)	117 (68,0)	28,7
Ni(II)Glu	164 (95,3)	163 (94,8)	148 (86,0)	102 (59,3)	21,6
Ni(II)EDTA	185 (107,55)	179 (104,1)	168 (97,7)	143 (83,1)	19,8
NIR _{0,05} LSD _{0,05}	10,6	15,7	28,5	27,6	–

W nawiasach podano procentową zawartość KA w stosunku do obiektu kontrolnego; Percentage of AA ratio to control in parentheses

Tabela 2; Table 2

Zawartość kwasu askorbinowego (KA) w liściach roślin sałaty ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ św.m.) po 28 dobach wzrostu w obecności niklu w formie nieorganicznej i organicznej

Content of ascorbic acid (AA) in lettuce leaves ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ fresh matter) after 28 days of plant growth in medium with inorganic and organic nickel

Formy niklu Nickel forms	Koncentracja Niklu; Nickel concentration ($\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$)				NIR _{0,05} LSD _{0,05}
	20,0	40,0	80,0	120,0	
Kontrola; Control	164 (100)				
Ni ₂ SO ₄ ·7 H ₂ O	152 (92,5)	137 (83,5)	106 (64,6)	87 (53,0)	16,6
Ni(II)Glu	150 (91,5)	142 (86,6)	110 (67,1)	73 (44,5)	17,4
Ni(II)EDTA	168 (102,4)	152 (92,7)	146 (89,6)	114 (69,5)	24,0
NIR _{0,05} LSD _{0,05}	22,4	27,6	20,8	13,6	–

W nawiasach podano procentową zawartość KA w stosunku do obiektu kontrolnego; Percentage of AA ratio to control in parentheses

Redukcję zawartości KA w liściach roślin rosnących w obecności niklu w formie Ni(II)EDTA w stosunku do zawartości KA w liściach roślin kontrolnych zanotowano tylko w obecności wysokich stężeń niklu w tej formie, tj. $120 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ (po 14 dobach hodowli roślin) oraz 80 i $120 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ (po 28 dobach hodowli roślin), (tab. 1, 2). Należy podkreślić, że stopień redukcji zawartości KA w liściach roślin sałaty pod wpływem Ni(II)EDTA był znacznie mniejszy niż pod wpływem niklu w formie nieorganicznej czy w formie Ni(II)Glu (tab. 1, 2). W przeprowadzonych badaniach zanotowano stymulujący wpływ Ni(II)EDTA na poziom KA w liściach badanej odmiany sałaty, przy czym ten stymulujący wpływ notowany był tylko w warunkach niskiej zawartości tego metalu (tj. 20 i $40 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$), (tab. 1, 2). Należy zaznaczyć, że wzrost ten był niewielki i wynosił od ok. 2,5 do 7,5%, i tylko w roślinach rosnących przez 14 dób w obecności niklu w stężeniu najniższym z zastosowanych w badaniach wzrost ten był istotny statystycznie (tab. 1, 2).

Istnieją sugestie potwierdzone w ostatnich latach eksperymentalnie, że w odpowiedzi na stres wywołany metalami ciężkimi zmienia się w roślinach zawartość kwasu askorbinowego [STROIŃSKI 1996; STROIŃSKI, BANDURSKA 1996; ŁATA 1998]. Na ogół odmiany wrażliwe na toksyczne działanie metali ciężkich zawierają mniej KA niż odmiany odporne, przy czym o ile u odmian odpornych w warunkach stresu wzrasta zawartość KA, to u odmian wrażliwych nie zmienia się, bądź ulega zmniejszeniu [STROIŃSKI 1996; STROIŃSKI, BANDURSKA 1996]. Należy zaznaczyć, że zmiany zawartości KA w tkankach roślinnych pod wpływem metali ciężkich na ogół badano po krótkiej (kilka-kilkadziesiąt godzinnej) ekspozycji roślin (tkanek roślinnych) na działanie metali. Wyniki badań przeprowadzonych przez autorkę wskazują, że podczas długotrwałego oddziaływania niklu na rośliny sałaty zawartość KA ulega redukcji, przy czym poziom tej redukcji jest uzależniony od stężenia pierwiastka oraz formy chemicznej, w jakiej jest on dostępny dla roślin. Nikiel odwrotnie niż inne metale (takie jak: Fe, Zn, Cu, Pb, Cd) w formie kompleksów organicznych (m.in. w postaci kompleksu z EDTA czy z histydyną) jest w stopniu mniejszym przyswajalny przez rośliny niż w formie mineralnej [ESKEW i in. 1984; KRÄMER i in. 1996], aczkolwiek według SPIAK [1997] nikiel łatwiej był pobierany przez rośliny kukurydzy z formy organicznej, tj. octanowej niż nieorganicznej, tj. chlorkowej, jednakże słabiej niż z innych form nieorganicznych, tj. z formy siarczanowej czy azotanowej. Także szybkość translokacji niklu w roślinie zależy od jego formy chemicznej. Według KRÄMER i in. [1996] pierwiastek ten w formie jonów kompleksowych (m.in. w połączeniu z histydyną) jest szybciej transportowany z korzenia do organów nadziemnych roślin niż w formie jonu wolnego, aczkolwiek zgodnie z wynikami badań tych autorów fitotoksyczność formy kompleksowej jest mniejsza niż jonowej. Zgodnie z analizą chemiczną zastosowanych w badaniach kompleksów niklu, przeprowadzoną przez autorkę oraz danymi literaturowymi [HAY 1987], nikiel z EDTA tworzy inertne, słabo dysocjujące kompleksy o dużej stałej trwałości, natomiast z kwasem glutaminowym tworzy mobilne, szybko dysocjujące kompleksy o niskiej stałej trwałości. Można sugerować, że nikiel w formie jonu wolnego i w formie nietrwałych kompleksów wodnych (powstałych w wodnej pożywce po dysocjacji związku nieorganicznego), czy też w formie mobilnych kompleksów organicznych (jak np. Ni(II)Glu), szybciej może być pobierany przez rośliny i szybciej transportowany z korzenia do liści niż w formie inertnych chelatów (jak np. Ni(II)EDTA). W efekcie czego fitotoksyczność (m.in. przejawiająca się poziomem redukcji KA) form mobilnych niklu

może być większa niż jego form inertnych. Należy zaznaczyć, że sugestia ta wymaga dalszych badań i potwierdzenia eksperymentalnego.

Wnioski

1. Nikiel w formie nieorganicznej ($\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) oraz w formie kompleksu z kwasem glutaminowym, tj. Ni(II)Glu w stężeniach 20, 40, 80 i $120 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ powodował redukcję zawartości kwasu askorbinowego w liściach sałaty odmiany Jana. Stopień redukcji zawartości KA wzrastał wraz ze wzrostem koncentracji niklu w tych formach w środowisku odżywczym roślin (tj. w wodnej pożywce Hoaglanda) oraz wraz z czasem jego oddziaływania na rośliny.
2. Nikiel w stężeniach 20–80 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ w formie nieorganicznej w większym stopniu niż w formie Ni(II)Glu redukował zawartość KA w liściach badanej odmiany sałaty, aczkolwiek różnice te nie były duże i na ogół nieistotne statystycznie.
3. W stężeniu najwyższym z zastosowanych w badaniach (tj. $120 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) nikiel w formie Ni(II)Glu w największym stopniu redukował zawartość KA w liściach sałaty odmiany Jana, natomiast w formie Ni(II)EDTA – w stopniu najmniejszym.
4. Nikiel w formie Ni(II)EDTA w koncentracjach niskich (tj. 20 i $40 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) powodował wzrost zawartości KA w liściach badanej odmiany sałaty, odpowiednio o 7,5 i 4,1% (po 14 dobach hodowli) oraz 2,4% (po 28 dobach hodowli roślin) w stosunku do jego zawartości w liściach roślin kontrolnych. Jednakże w stężeniach wyższych (80 i $120 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) pierwsiastek ten także w tej formie powodował redukcję zawartości KA w liściach sałaty, aczkolwiek w stopniu mniejszym niż w formie nieorganicznej czy w formie Ni(II)Glu .

Literatura

- ADRIANO D.C. 1986. *Trace elements in the terrestrial environment*. Springer-Verlag, New York: 533 ss.
- BORNA Z. (red.) 1978. *Szczegółowa uprawa warzyw*. Wyd. PWRiL, Warszawa: 681 ss.
- DIXON N.E., GAZZOLA C., BLAKELEY R.I., ZERNER B. 1975. *Jack bean urease (E.C. 3.5.1.5) a metalloenzyme. A simple role for nickel?* J. Am. Chem. Soc. 97: 4131–4133.
- DIXON N.E., GAZZOLA C., BLAKELEY R.I., ZERNER B. 1976. *Metal ions in enzymes using ammonia or amides*. Science 191: 1144–1150.
- 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.
- HAY W. 1987. *Bio-Inorganic Chemistry*. Ellis Horwood Ltd., England: 257 ss.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1993. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa: 364 ss.

- KRÄMER U., COTTER-HOWELLS J.D., CHARNOCK J.M., BAKER A.J.M., SMITH J.A. 1996. Free histidine as a metal chelator in plants that accumulate nickel. *Nature* 379: 635–638.
- LARSON R.A. 1988. *The antioxidants of higher plants*. *Phytochemistry* 27: 969–978.
- L'HUILLIER L., D'AUZAC J., DURAND M., MICHAUD-FERRIÈRE N. 1996. Nickel effect on two maize (*Zea mays*) cultivars: growth, structure, Ni concentration, and localization. *Can. J. Bot.* 74: 1554–1554.
- LICZMAŃSKI A.E. 1988. Toksyczność tlenu. *Mechanizmy ochronne*. *Post. Biochem.* 34: 293–310.
- ŁATA B. 1998. *Mechanizmy chroniące roślinę przed stresem oksydacyjnym, wywołanym niekorzystnymi warunkami środowiska*. *Post. Nauk Rol.* 6: 115–131.
- MISHRA D., KAR M. 1974. Nickel in plant growth and metabolism. *Bot. Rev.* 40: 395–452.
- MOLAS J. 1997a. Ultrastructural response of cabbage outer leaf mesophyll cells (*Brassica oleracea* L.) to excess of nickel. *Acta Soc. Bot. Polon.* 66(3–4): 307–317.
- MOLAS J. 1997b. Changes in morphological and anatomical structure of cabbage (*Brassica oleracea* L.) outer leaves and in ultrastructure of their chloroplasts caused by an *in vitro* excess of nickel. *Photosynthetica* 34(4): 513–522.
- MOSZCZYŃSKI P., PYĆ R. 1999. *Biochemia witamin. Witaminy lipofilne i kwas askorbinowy*. Cz. 2. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, Łódź: 127–135.
- RUTKOWSKA U. 1981. *Wybrane metody badania składu i wartości odżywczej żywności*. PZWL, Warszawa: 245 ss.
- SMIRNOFF N. 1996. Botanical briefing: the function and metabolism of ascorbic acid in plants. *Annals of Bot.* 78(6): 661–669.
- SPIAK Z. 1997. Wpływ formy chemicznej niklu na pobieranie tego pierwiastka przez rośliny. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 448a: 311–316.
- STROIŃSKI A. 1996. Stres oksydacyjny w komórce roślinnej wywołany działaniem metali ciężkich. *Mat. konf. „Dwa oblicza tlenu”*. Warszawa, 26 IV 1996.
- STROIŃSKI A., BANDURSKA H. 1996. Wpływ kadmu na poziom antyutleniaczy w bulwie ziemniaka, w: *Ekofizjologiczne aspekty reakcji roślin na działanie abiotycznych czynników stresowych*. Grzesiak S., Miszalski Z. (red.), ZFR PAN, Kraków: 411–416.
- VAN ASSCHE F., CLIJSTERS H. 1990. Effect of metals on enzyme activity in plants. *Plant Cell Environ.* 13: 195–206.

Słowa kluczowe: formy chemiczne niklu, kwas askorbinowy, sałata

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych dotyczących wpływu niklu w formie nieorganicznej (tj. $\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) i w formie kompleksów organicznych, tj. Ni(II)Glu (kompleks niklu z kwasem glutaminowym) i Ni(II)EDTA (kompleks niklu z kwasem etylenodwuaminocteroocetowym) na zawartość kwasu askorbinowego (KA) w liściach sałaty odmiany Jana. Nikiel w formie nieorga-

nicznej oraz w formie Ni(II)Glu we wszystkich zastosowanych w badaniach koncentracjach (tj. 20, 40, 80 i 120 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) powodował redukcję zawartości KA w liściach badanej odmiany sałaty, przy czym stopień redukcji zawartości KA był nieznacznie większy w roślinach rosnących na pożywce z dodatkiem Ni nieorganicznego w stężeniach 20–80 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ niż Ni(II)Glu. Jednakże w stężeniu najwyższym z zastosowanych w badaniach, tj. 120 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, nikiel w formie Ni(II)Glu w stopniu największym redukował zawartość KA w liściach sałaty. Nie wielki wzrost zawartości KA w stosunku do roślin kontrolnych zanotowano tylko w liściach roślin rosnących w obecności niklu w formie Ni(II)EDTA w koncentracjach niskich (tj. 20–40 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$), natomiast w koncentracjach wyższych (tj. 80 i 120 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) zawartość KA także przez tę formę niklu była redukowana, aczkolwiek w stopniu mniejszym niż przez nikiel nieorganiczny czy Ni(II)Glu.

THE CHANGES OF ASCORBIC ACID CONTENT IN LETTUCE LEAVES AS AFFECTED BY INORGANIC AND ORGANIC NICKEL FORMS

Jolanta Molas

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

Key words: ascorbic acid, lettuce, nickel chemical form

Summary

The purpose of this work was to investigate the influence of inorganic nickel (i.e. $\text{NiSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$) and organic nickel complexes i.e. Ni(II)Glu (glutamato-nickelate complex) and Ni(II)EDTA (Ni(II)-ethylene-diamine-tetraacetate) in medium on ascorbic acid (AA) content in leaves of lettuce plants, Jana cultivar. The reduction of AA content was noted in leaves of lettuce plants supplied with inorganic nickel and Ni(II)Glu. The stimulation of AA content was observed in plants treated with Ni(II)EDTA in low concentrations, i.e. 20–40 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, whereas in plants treated with high concentrations of Ni(II)EDTA (80–120 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) the AA content was reduced.

Dr Jolanta Molas

Instytut Nauk Rolniczych w Zamościu

Akademia Rolnicza

ul. Szczepieńska 102

22-400 ZAMOŚĆ