

Ammóniumfelvétel hatása a gyökérkörnyezet savanyodására és az angolperje csíranövény kadmiumfelvételére

MURÁNYI ATTILA, FÜLEKY GYÖRGY és G. JÓZEFACIUK

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest, Gödöllői Agrártudományi Egyetem és LTA Agrofizikai Kutató Intézete, Lublin (Lengyelország)

A kadmium talajban történő adszorpciója igen gyors folyamat. A Cd-adszorpció és -deszorpció nagymértékben pH-függő. CHRISTENSEN (1984) vizsgálatai szerint a pH 7,7-ről 4,4-re történő csökkenése során a Cd-deszorpció mértéke háromszorosára nőtt, homok- illetve vályog talajokon. SALOMONS (1992) holland talajok folyadékfázisában a pH függvényében a Cd-koncentráció nem lineáris növekedését mutatta ki. LODENIUS & AUTIO (1989) homok- és tőzegtalajokban, liziméterben vizsgálták a kadmium szorpciójának és mobilitásának változását - pH 5,4 és 3,6 kémhatású mesterséges savas esővel modellezett - savas kilúgzás következtében. Azt találták, hogy a kadmium lemosódásában a pH-nak nagyobb a szerepe, mint a szervesanyag-tartalomnak.

Hasonló nehézfém mobilitási vizsgálatok történtek bolygatott talajokkal és bolygatatlan szerkezetű talajoszlopokkal (NÉMETH et al., 1993, 1994; BUTÁS et al., 1995; CSILLAG et al., 1994).

Jelen munkánkban, amely az OTKA T013214 szerződés támogatásával folyt, a gyökérkörnyezeti savanyodás kadmiummobilizáló hatásának vizsgálatát tűztük ki célul.

Anyag és módszer

A STANFORD & DEMENT (1957) által kidolgozott gyors csíranövényes bioteszt módszert NOOMAN & FÜLEKY (1989, 1991/1992) fejlesztette tovább, s e módszert alkalmaztuk a kísérletsorozat során. A módszer alapelvét és lényeges jellemzőit, a kísérletsorozat megtervezésének fontos szempontjait, a kiválasztott talajok tulajdonságait, valamint a kísérlet kivitelezését előző cikkünkben részletesen ismertettük (MURÁNYI & FÜLEKY, 1997).

Jelen kísérletsorozatban CdCl₂ terhelést alkalmaztunk. A talajok HNO₃/H₂O₂-as feltárással meghatározott összes-Cd-tartalma a gödöllői talajban 0,438 mg/kg, a martonvásári talajban 0,411 mg/kg volt. A Lakanen-Erviö módszerrel meghatározott könnyen felvehető Cd-tartalom a gödöllői talajban 0,062 mg/kg,

a martonvásári talajban 0,13 mg/kg volt. A terheléseket úgy választottuk meg, hogy nagyságuk a magyar szabványban megadott értékkel összevethető legyen.

Két ismétlést és nyolc kezelést állítottunk be:

1. Talaj + 0 ppm N + 0 ppm Cd.
2. Talaj + 0 ppm N + 1 ppm Cd.
3. Talaj + 0 ppm N + 2 ppm Cd.
3. Talaj + 0 ppm N + 4 ppm Cd.
5. Talaj + 200 ppm N + 0 ppm Cd.
6. Talaj + 200 ppm N + 1 ppm Cd.
7. Talaj + 200 ppm N + 2 ppm Cd.
8. Talaj + 200 ppm N + 4 ppm Cd.

A hajtás és a gyökerek Cd-tartalmát sósavas hidrolízissel határoztuk meg.

Kísérleti eredmények és értékelésük

A talajsavanyodás mértéke

pH változások

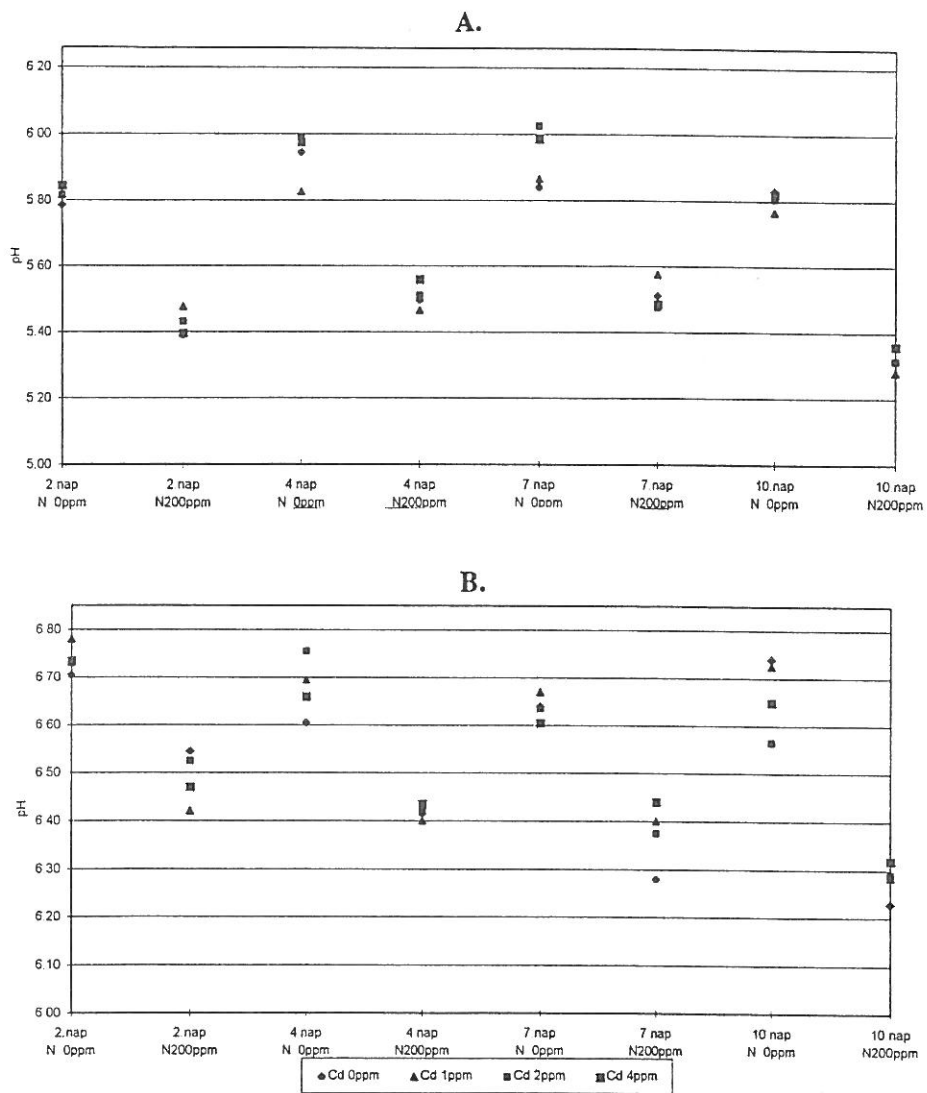
A gödöllői talaj pH értéke minden egyes esetben csökkent a talaj eredeti pH értékéhez képest (1A. ábra). A N-kezelés nélküli esetekben a pH a 2. napon mind a négy kezelésnél lecsökkent kb. 5,8-ra, majd a 4. és a 7. napon 2 ppm, illetve 4 ppm Cd-terhelés esetén a pH felment kb. 6,0-ra, majd ismét lecsökkent kb. 5,8-ra. A N-kezelés nélküli esetekben a gyökérkörnyezeti talajsavanyodás a gyökérlégzéssel magyarázható. A nagy Cd-terheléseknél a növény stresszhelyzetbe kerül, aminek következtében a gyökérlégzés csökken. A kísérletsorozat eredményei arra utalnak, hogy a növény a 10. napon ismét „magára talál” és a pH ismét lecsökken 5,8-ra. Ez a savanyodás 0,5 egységnyi pH-csökkenésnek felel meg az eredeti talaj pH-hoz képest, ami nagy értéknek tekinthető, mivel főként a gyökérlégzés okozza.

A N-kezeléses esetekben nagymértékű pH-csökkenéseket tapasztaltunk, a pH 6,26-ről lecsökkent 5,6-5,3-ra. A nitrifikáció inhibitor jelenléte miatt az angolperje csíranövényt ammónium felvételére kényszerítettük, s a növény által felvett kationtöbbletet a gyökér hidrogénionok kibocsátása révén kompenzálta. Emiatt mérhettünk sokkal nagyobb mértékű gyökérkörnyezeti talajsavanyodást, ami a 10. napon elérte az egységnyi pH-csökkenést is. A N-kezeléses esetekben is tapasztalható nagy Cd-terheléseknél a pH enyhe emelkedését követő ismételt csökkenés, ami a csíranövény adaptációs képességét jelezheti.

A martonvásári talaj esetében kisebb mértékű pH-csökkenéseket tapasztaltunk (1B. ábra).

N-kezelés nélkül a pH kismértékben csökkent 6,85-ről 6,7-6,6-ig. Az ammóniumsulfát-kezelés hatására a gyökérkörnyezeti talaj pH sokkal nagyobb mértékben csökkent, s a 10. napon elérte a pH = 6,3-6,2 tartományt. A Cd-ke-

zelések hatására a pH-csökkenések mérsékeltebbek a 7. és a 10. napon, azaz a N-kezelések esetén a kadmium nélküli talajban a pH nagyobb mértékben csökkent, mint kadmium jelenlétében.



1. ábra

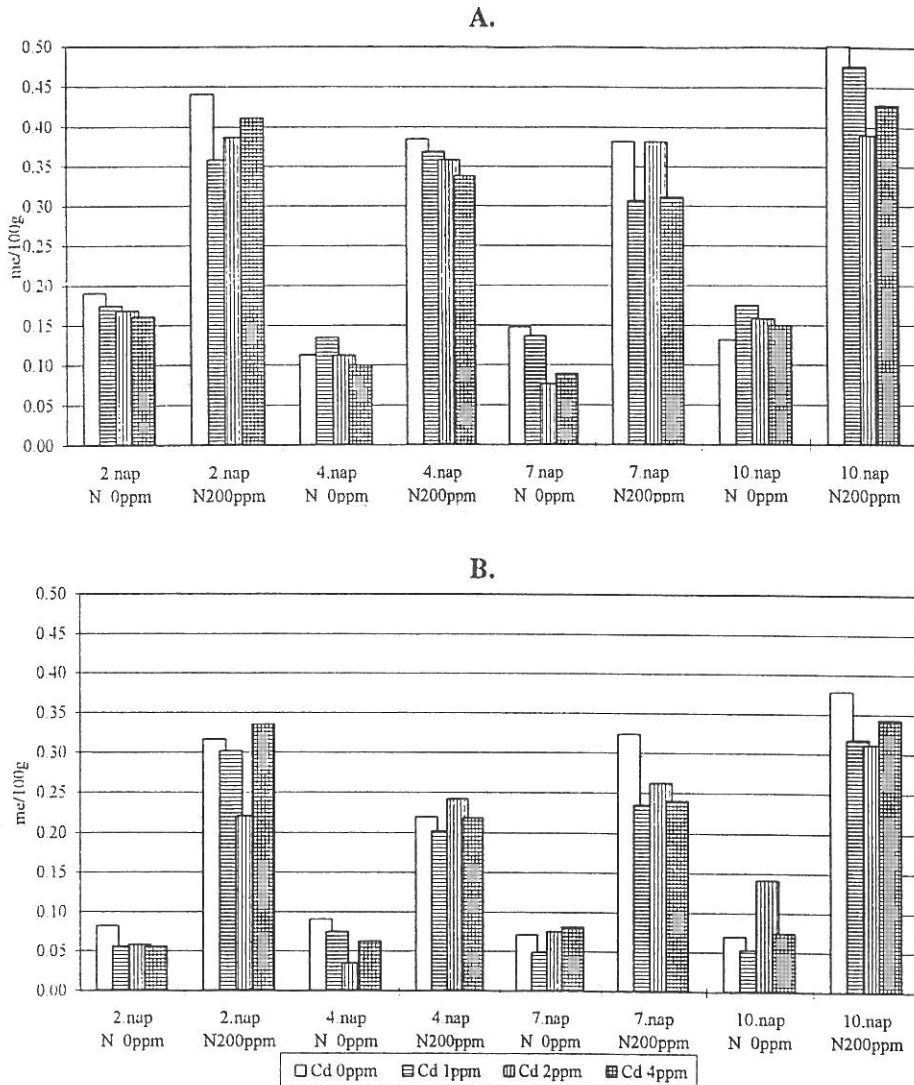
A pH változása a gyökérkörnyezetben az idő és a N-kezelés függvényében a különböző Cd-kezelésekben a gödöllői (A) és martonvásári (B) talajon

A titrálható savanyúság nagysága

A titrálható savanyúság a Cd-kezelés során egyenletes képet mutat (2. ábra).

A gödöllői talaj esetében minden egyes kezelésnél gyökérkörnyezeti savanyodást tapasztaltunk (2A. ábra).

A N-kezelés nélküli esetekben 0,2 me/100 g-nál kisebb titrálható savanyúságot mértünk. A 2. és 4. napon valamivel kevesebb volt a titrálható savanyúság.



2. ábra

A titrálható savanyúság változása a gyökérkörnyezetben az idő és a N-kezelés függvényében a különböző Cd-kezelésekben a gödöllői (A) és martonvásári (B) talajon

ság, ami a 10. napon enyhén megnőtt. A tendencia hasonló a pH-méréseknél tapasztaltnak.

Az ammóniumsulfát-kezelések során a keletkezett savmennyiségek mindig 0,3 me/100 g-nál nagyobbak voltak, amit a csíranövény gyökérlégzése és ammóniumfelvétele együttesen okozott. A N-kezelések esetében megfigyelhető, hogy a legnagyobb titrálási savanyúságot mind a négy időpontban a Cd₀-kezelés során mértük, a Cd-kezelések kisebb mértékű savanyodást okoztak a gyökérkörnyezetben. Úgy tűnik, hogy a 4. és a 7. napon valamivel kisebbek a titrálható savanyúság értékek, összhangban a pH-tendenciákkal. A mért titrálható savanyúság értékek a 10. napon voltak a legnagyobbak, a Cd₀-kezelés esetében elérte a 0,5 me/100 g-ot.

A *martonvásári talaj* esetében (2B. ábra) kisebb mértékű talajsavanyodást tapasztaltunk. A N-kezelés nélküli esetekben a titrálható savanyúság értéke általában kisebb volt 0,1 me/100 g-nál.

Az ammónium-szulfát hatására (a N-kezelés nélküli esetekhez viszonyítva) jelentős mennyiségű sav keletkezett. A gyökérkörnyezetben keletkezett savanyúság nagysága a 10. napra meghaladta a 0,3 me/100 g-ot, a Cd₀-kezelésnél majdnem elérte a 0,4 me/100 g-ot.

A gyökérkörnyezeti talajsavanyodás mértéke - mind a pH változások, mind a titrálható savanyúság nagysága - érzékenyen jellemzi az angolperje csíranövény ammónium-, illetve Cd-kezeléssel szemben mutatott reakcióit.

A csíranövény kadmiumtartalma

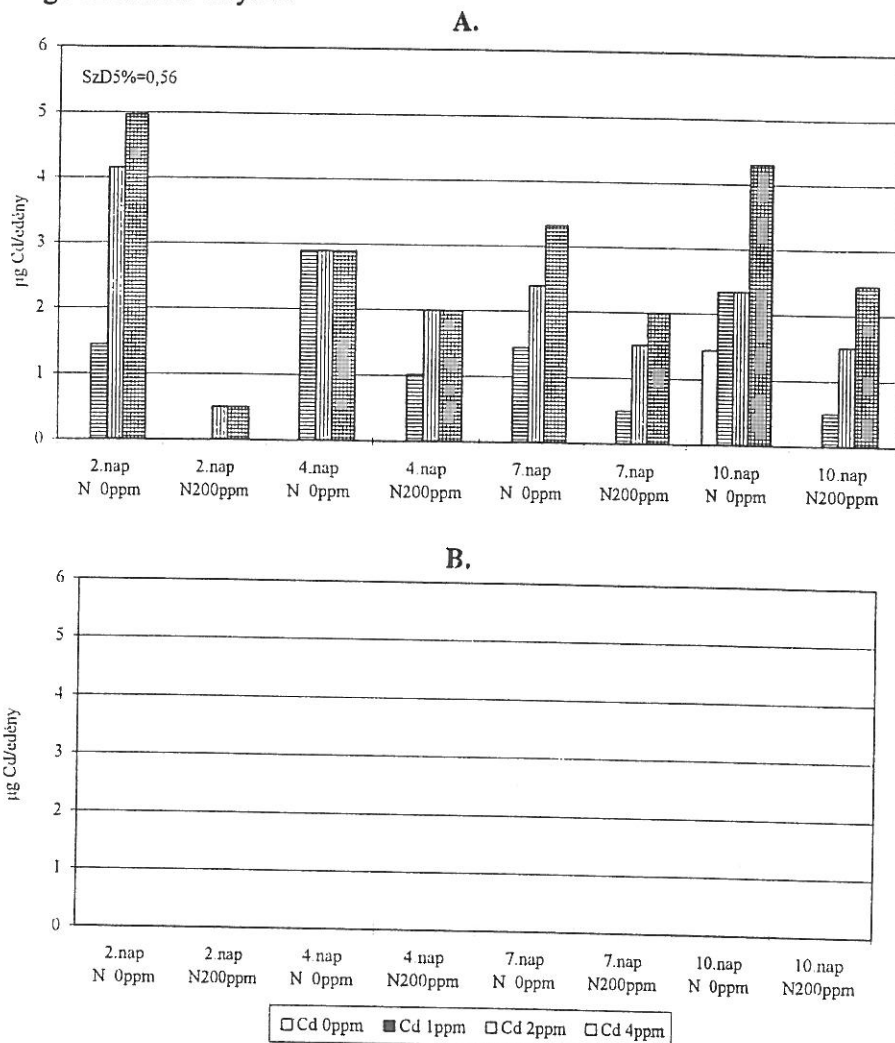
A hajtás kadmiumtartalma

A hajtásban mért kadmium tekintetében jelentős különbség van a két talaj között (3. ábra).

A *gödöllői talaj* (3A. ábra) esetében a N-kezelés nélküli esetekben mértünk igen nagy mennyiségű kadmiumot a hajtásban. Már a második napon jelentős mennyiségű kadmium található a hajtásban, s a Cd-terhelés növekedésével nőtt a hajtás Cd-tartalma is. A Cd₀ esetében nem volt kadmium a hajtásban. A legnagyobb Cd-terhelésnél a hajtás Cd-tartalma a kísérlet elején először hirtelen megnőtt (5 µg/edény), azután a hajtás Cd-tartalma csökkent, egy minimumon ment át, majd ismét nőni kezdett. Ugyancsak csökkenés figyelhető meg a 2 ppm Cd-terhelés hatására is. A 2. napon igen nagy Cd-tartalmat mértünk a hajtásban, ami az idő előrehaladtával lecsökkent kb. a felére.

A N-kezeléseknél a hajtásban mért Cd-tartalmak kisebbek voltak, mint a megfelelő N-kezelés nélküli esetekben. Ez azt jelzi, hogy a gyökérkörnyezetben mért fokozott talajsavanyodás gátolta a kadmiumnak a hajtásba történő feljutását. A hajtásban mért Cd-tartalmak a 4., 7. és 10. napon kb. azonos nagyságúak, a hajtásban mintegy beállt egy kadmiumszint.

A *martonvásári talaj* esetében a 32 eset közül egyetlen egyszer sem találtunk a hajtásban kadmiumot, ami az eltérő talajtulajdonságokra vezethető vissza. A növény által kibocsájtott savmennyiség hasonló nagyságrendű volt mindkét talajban, azonban a *martonvásári talajban* mért nagyobb pH értékeknél a kadmium kevésbé mobilizálódott és vált a növény számára felvehetővé. Emellett a két talaj Ca-tartalma is jelentősen eltér: 19,8, ill. 6,93 me/100 g a *martonvásári*, ill. *gödöllői talajban*. A *martonvásári talaj* nagy Ca-tartalma (a Ca- és Cd-ionok versenye miatt) szintén a kadmium mobilizálódása és felvehetősege ellen ható tényező.



3. ábra

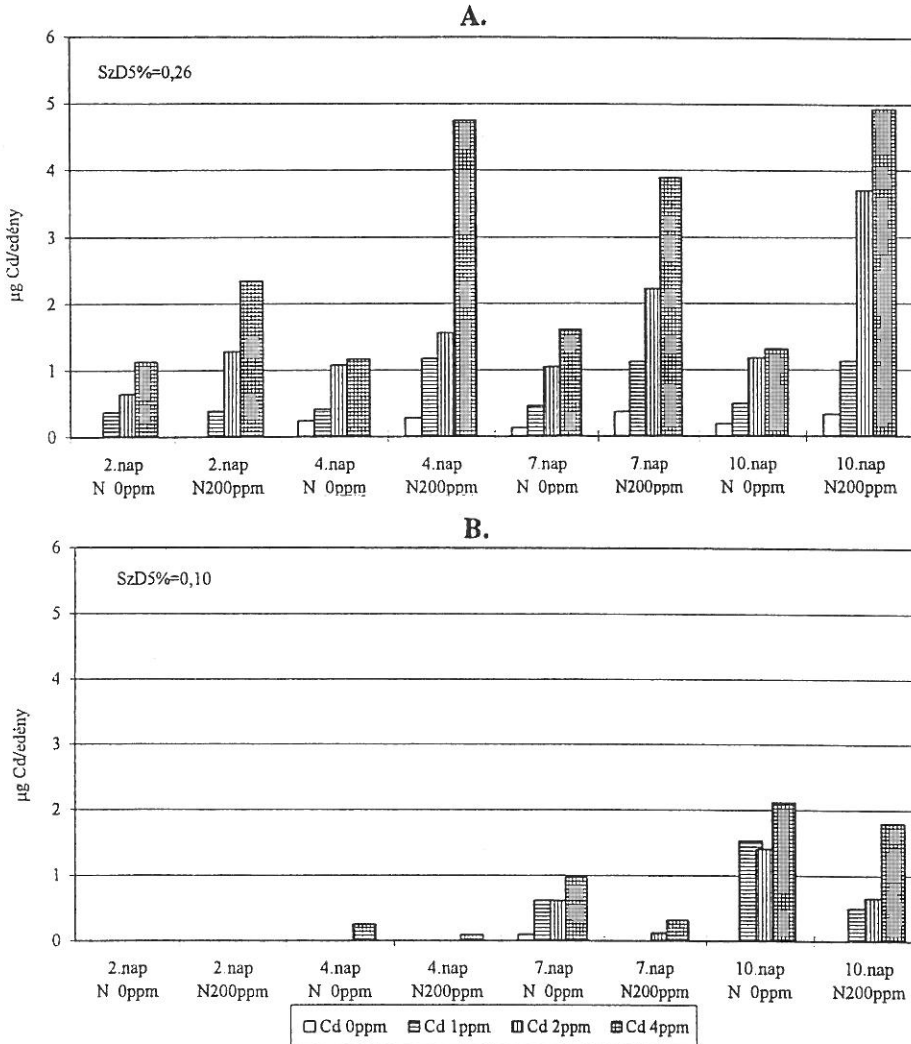
Az angolperje csíranövény hajtásának Cd-tartalma az idő és a N-kezelés függvényében a különböző Cd-kezelésekben a gödöllői (A) és martonvásári (B) talajon

A gyökér kadmiumtartalma

Az angolperje gyökerében mért Cd-tartalmak is jelentősen különböznek a két talaj esetében (4. ábra).

A gödöllői talajban (4A. ábra) nagy Cd-tartalmakat mértünk a csíranövény gyökerében.

A N-kezelés nélküli esetekben a gyökér Cd-tartalma nagyobb Cd-terhelés esetében nagyobb. Ugyanakkor a mért értékek kisebbek, mint a megfelelő N-kezeléses esetekben mért értékek. N-kezelés hatására megnőtt a gyökér Cd-tar-



4. ábra

Az angolperje csíranövény gyökerének Cd-tartalma az idő és a N-kezelés függvényében a különböző Cd-kezelésekben a gödöllői (A) és martonvásári (B) talajon

talma, különösen a 2 ppm és 4 ppm Cd-terhelések esetén. 4 ppm Cd-tartalom esetében a gyökér Cd-tartalma a 10. napon eléri az 5 µg-ot.

Érdeemes felfigyelni arra, hogy az angolperje gyökere által felvett Cd-tartalom és a hajtásban mért Cd-tartalom fordított viselkedést mutat. N-kezelés nélkül a hajtásban mértünk sok kadmiumot és a gyökerekben nem, míg a N-kezelések hatására a gyökerek vettek fel sok kadmiumot, de a hajtásban csak kevés kadmiumot találtunk. Ez a kadmium növényen belüli eloszlásának, átrendeződésének lehetőségére utal.

A *martonvásári talaj* esetében a gyökér Cd-tartalma a 4. naptól kezdve kezd el növekedni. A gyökér Cd-felvétele a N-kezelés nélküli esetekben nagyobb, mint a N-kezelések során mért Cd-felvétel. Ez azt jelzi, hogy az ammónium-felvétel okozta hidrogénion-kibocsájtás által okozott pH értékek és a nagy kicserélhető kalciumtartalom mellett a kadmium mobilizálódása és gyökér általi felvétele lassú folyamat.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a kadmium viselkedése a gödöllői talajban összetettebb képet mutat.

A gödöllői talajon a toxikus 1 ppm feletti Cd-tartalom a 2. naptól kezdve kimutatható mind a hajtásban, mind a gyökérzetben. Cd-terhelés esetében megfigyelhető volt az a tendencia, hogy nagyobb hajtás Cd-tartalom esetén az adott kezelésnél valamivel kisebb Cd-tartalom volt a gyökérzetben. Ugyanakkor a nagyobb hajtással felvett Cd-mennyiség kisebb titrálható savanyúságot eredményezett.

A jelenség hasonlóan értelmezhető, mint az ólomnál, vagyis a kadmium gátol egyes életfolyamatokat, így például az ammóniumionok felvételét és a vele együtt járó savkibocsájtást. Úgy tűnik, hogy a transzlokáció is szerepet játszhat a gyökérkörnyezet savanyodásában, hiszen elsősorban a hajtásban felhalmozódott kadmium mutatott negatív korrelációt a titrálható savanyúsággal.

Irodalom

- BUJTÁS, K. et al., 1995., Distribution of selected metals in a soil-plant experimental system after application of metal-spiked sewage sludge. In: Proc. 25th Annual Meeting of ESNA, Catelnuovo Fogliani (Piacenza/Italy), 15-19 Sept., 1995. (Ed.: GERZABEK, M. H.) 99-105.
- CHRISTENSEN, T. H., 1984. Cadmium soil sorption at low concentrations: I. Effect of time, cadmium load, pH and calcium. *Water, Air and Soil Pollut.* 21. 105-114.
- CSILLAG, J. et al., 1994. Study of heavy metal overloading of soils in a model experiment. *Agrokémia és Talajtan.* 43. 196-210.
- LODENIUS, M. & AUTIO, S., 1989. Effects of acidification on the mobilization of cadmium and mercury from soils. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 18. 261-267.
- MURÁNYI A. & FÜLEKY GY., 1997. Ammónium-felvétel hatása a gyökérkörnyezet savanyodására és az angolperje csíranövény ólomfelvételére. *Agrokémia és Talajtan.* 46. 185-196.

- NÉMETH, T. et al., 1993. Mobility of some heavy metals in soil-plant systems studied on soil monoliths. *Wat. Sci. Tech.* **28**. 389-398.
- NÉMETH, T. et al., 1994. Model experiments to assess the fate of heavy metals in soils. In: *Biogeochemistry of Trace Elements* (Ed.: ADRIANO, D. C. et al.) Science and Technology Letters. 505-514.
- NOOMAN, H. J. & FÜLEKY GY., 1989. Gyors bioteszt a talaj tápelem-szolgáltató képességének meghatározására. *Agrokémia és Talajtan.* **38**. 121-142.
- NOOMAN, H. J. & FÜLEKY GY., 1991/1992. Biotesting of soil fertility and fertilizer response. *Bulletin Univ. Agric. Gödöllő*, 1991/1992. 17-30.
- SALOMONS, W., 1992. Non-linear responses of toxic chemicals in the environment: a challenge for sustainable management. In: *Chemical Time Bombs*. (Eds.: TER MEULEN, G. R. B. et al.) Veldhoven.

Érkezett: 1997. április 11.

Effect of Ammonium Uptake on the Acidification of the Root Zone and the Cadmium Uptake of Ryegrass Seedlings

A. MURÁNYI, G. FÜLEKY and G. JÓZEFACIUK

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest, University of Agricultural Sciences, Gödöllő (Hungary) and Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Lublin (Poland)

Summary

The biotest method of NOOMAN & FÜLEKY (1989, 1991/1992) was used to study the mobilization of Cd by the acidification of root zone. A moderately acidic Ramann-type brown forest soil (Gödöllő) and a slightly acidic chernozem with forest residues (Martonvásár) were chosen for the experiments. The indicator plant was ryegrass.

The fertilizer treatments consisted of mixing 200 ppm N into the soil in the form of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. In order to prevent the nitrification of the ammonium ions 0.5 ml/100 g N-serve was also applied. The control treatment was 0 mg N/kg soil.

In the present series of experiments CdCl_2 load was applied. The total Cd contents were 0.44 and 0.41 mg/kg and the readily available Cd contents 0.06 and 0.13 mg/kg in the Gödöllő and Martonvásár soils, resp. The contamination levels were chosen so that its magnitude was comparable with the permitted values given in the Hungarian standard. Eight treatments were employed in two replications: with or without nitrogen, and Cd contamination of 0, 1, 2 or 4 ppm.

It could be concluded from the experiments that the behaviour of cadmium was complex in the Gödöllő soil, where a Cd content of above 1 $\mu\text{g}/\text{pot}$ could be demonstrated in both the shoots and roots of ryegrass from the 2nd day onwards. In the case of Cd it could be observed that greater shoot Cd content tended to be associated with a smaller Cd content in the roots. At the same time a greater uptake of Cd in the shoots was associated with lower titratable acidity. This phenomenon can be interpreted by the inhibition of certain vital processes, such as ammonium ion uptake and the associated acid production. Translocation also plays a role in the acidification of the root zone, since it was chiefly the cadmium accumulated in the shoot that exhibited a negative correlation with the titratable acidity. In the Martonvásár soil acid production resulted in pH values higher than 6.2. The high exchangeable Ca-content (19.8 me/100 g) also depressed the mobilization of Cd. As a consequence no Cd was measured in the shoots and the Cd uptake by roots was also slow under those chemical conditions.

Figure 1. Change in pH in the root zone as a function of time and N treatment in the course of various Cd contaminations in Gödöllő (A) and Martonvásár (B) soils.

Figure 2. Changes in titratable acidity in the root zone as a function of time and N treatment in the course of various Cd contaminations in Gödöllő (A) and Martonvásár (B) soils.

Figure 3. Cd content in the shoots of ryegrass seedlings ($\mu\text{g}/\text{pot}$) as a function of time and N treatment in the course of various Cd contaminations in Gödöllő (A) and Martonvásár (B) soils.

Figure 4. Cd content in the roots of ryegrass seedlings ($\mu\text{g}/\text{pot}$) as a function of time and N treatment in the course of various Cd contaminations in Gödöllő (A) and Martonvásár (B) soils.