
Nehézfémek a mezőgazdasági talajokban

Taraczközi Kamilla

Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum,
Mezőgazdaságtudományi Kar,
Földműveléstan Tanszék, Debrecen

ÖSSZEFOGLALÁS

A talaj a tápláléklánc alapját képezi. A fenntartható fejlődésnek és az egészségre nem káros hatású élelmiszertermelésnek alapja a talaj állapotának rendszeres tartása. A talaj termőképessége legfontosabb, ehhez kapcsolódnak a minőségi követelmények, és a gazdaságosság. Nagyon fontos, hogy figyeljünk a környezetvédelmi tényezőkre.

A talajkészleteket két veszély fenyegeti: a talajdegradáció folyamatai és a talajt érő szennyeződések. Ismert a különböző káros és/vagy mérgező anyagok felhalmozódása a talajban. Ezekhez tartoznak a nehézfémek is. A fémek a talajban, a talajoldatban egyensúlyban vannak. Ez az egyensúly függ a fém típusától, a pH-tól, a talaj kationkötő képességétől, a redoxviszonyoktól és a talajban található kationok koncentrációjától.

Ahhoz, hogy kezelni tudjuk a fémekkel szennyezett talajokat, fontos megbecsülni a szennyező fém formáját, lehetséges kiterjedését a talajban, koncentrációjának a nagyságrendjét. Természetesen a különböző talajtípusok eltérő fizika-kémiai, biológiai és pufferkapacitása mérsekélhetik, vagy erősíthetik a nehézfém-ionok káros hatásait. Az eltérő szennyezőforrásokból származó fémek eloszlására és mennyiségi viszonyaira nehéz általános következtetést levonni, mert egyes kibocsátó források főleg kis területre korlátozódnak (ún. lokális) de nagyméretű szennyezést okozhatnak, míg mások rendszerint nagy területre terjedő és az egyenletes eloszlásból adódóan kisebb fokú szennyezést jelenthetnek.

A nehézfémek az alkáliionokkal ellentétben igen erősen kötődnek a szerves anyaghoz, illetve kelát formában beépülnek. Legszenbetűnőbb tulajdonságuk- fémkomplexbépező hajlamuk. A kelátok a nehézfémek felvételében és szállításában vesznek részt. A nehézfémek többnyire enzimaktivátorként fejtik ki hatásukat.

A fémek biológiailag nem bonthatók le, az élő szervezetekben felhalmozódhatnak, továbbá biokémiai reakciók során mérgező vegyületekké alakulhatnak át. Sok nehézfém az abiotikus rendszerek (levegő/talaj, illetve víz/üledék) határfelületén felhalmozódik, majd fizikai vagy kémiai paraméterek megváltozásának hatására remobilizálódik. Az emberi aktivitás a nehézfémek mobilizációjához igen jelentős mértékben járul hozzá, és ahhoz vezet, hogy sok fém biokémiai anyagfolyamata ma túlnyomóan antropogén eredetű.

Ahhoz, hogy a talajban a fémek nagy koncentrációjában felhalmozott mennyiségeinek toxikus hatását megértsük, a talajból a növénybe való kerülését, a fémek akkumulációs folyamatait, a növényről vagy növényből a fémek kijutását tudjuk és értjük, valamint az egészségkárosodásban okozott hatásait ismerjük nagyon sok folyamat pontos ismerete és meghatározása szükséges.

A talajszennyeződések elleni védelem érdekében meg kellene határozni a talajt érő káros szennyeződések fajtáit és határértékeit a jogi-, a műszaki- és a talajtani szempontok szerint is egységesen kezelhető módon. A nehézségeket e téren az jelenti, hogy a toxicitás a terhelhetőség, a felvehetőség, a talajtulajdonságok és az élő szervezetek (faja, kora, állapota stb.) függvénye, továbbá, hogy a mindenkor adott helyi természeti és gazdasági viszonyok is különbözőek.

SUMMARY

The soil constitutes the basis of the food chain. To keep soil conditions in a good trim is very important, it's part of the sustainable development and of producing food supply harmless to health.

In some cases, soil productivity is the only important part, qualitative requirements or economical characteristics can improve it. The soil is threatened by two danger factors: the soil degradation and the soil pollution. The accumulation of different harmful and/or toxic substances in the soil is well known. Heavy metals constitute a part of it. Metals in the soil and in the soil-solution are balanced. This balance depends on the type of the metal, on the pH, on the cation-band capacity of the soil, on the redox relations and the concentration of cations in the soil.

To be able to handle the metal contamination of the soil, it is important to estimate the form, the possible extension and the concentration of metals.

Of course, the different types of soils have different physical-chemical, biological and buffer capacity, they can moderate or reinforce the harmful effects of heavy metals. To draw general conclusion of the dispersion and quantitative relations on the metals originated from different contamination sources is hard, because in some emissive sources contamination is limited in small areas but on a high level, some others usually expand on larger areas, and as a result of equal dispersion, the contamination's level is lower.

Heavy metals – unlike alkali ions – strongly bond to organic materials, or infiltrate in a kelát form. Their outstanding characteristic is the tendency to create metal-complex forms. Kelats take part in the uptaking and transportation of heavy metals. Heavy metals exert their effects mostly as enzyme-activators.

The metals cannot degrade in an organic way, they accumulate in living organisms, and they can form toxic compounds through biochemical reactions.

Lot of the heavy metals accumulate on the boundaries of the abiotic systems (air/soil, water/sediment), when physical or chemical parameters change, and this influences their remobilization.

Human activity plays a great part in heavy metal mobilization, results in the human origin of most biochemical process of metals.

To understand the toxic influence of accumulated metals of high concentration, their transportation from soils to plants or their damage in human health, must clearly defined and investigated.

For effective protection against soil pollution, the types and levels of harmful pollution to soil must identified, regarding legal, technical and soil-science aspects, preferable in a single way. Difficulties in this area mean that toxicity depends on loading, uptake, soil characteristics and living organisms (species, age, condition etc.), furthermore, local and economic conditions considerably differ.

BEVEZETÉS

A talaj fizikai, kémiai és biológiai folyamatok rendszerének színhelye. A talajvédelem feladata gondoskodni a nagy hozamú növénykultúrák optimális tápanyagellátásáról oly módon, hogy megőrizzük és növeljük a talaj termékenységét. Ehhez nagy figyelmet igényelnek a víz és a tápanyag-raktározó funkciók, a talajkészlet mennyisége és minősége, a talaj puffer-, detoxikáló- és szűrőfunkciói, elsősorban a különösen érzékeny területeken.

A talajkészleteket két veszély fenyegeti: a talajdegradáció folyamatai és a talajt érő szennyeződések. Ismert a különböző káros és/vagy mérgező anyagok felhalmozódása a talajban. Ezekhez tartoznak a nehézfémek is. A fémek a talajban, a talajoldatban egyensúlyban vannak. Ez az egyensúly függ a fém típusától, a pH-tól, a talaj kationkötő képességétől, a redoxviszonyoktól és a talajban található kationok koncentrációjától.

Ahhoz, hogy kezelni tudjuk a fémmel szennyezett talajokat, fontos megbecsülni a szennyező fém formáját, lehetséges kiterjedését a talajban, koncentrációjának a nagyságrendjét. Természetesen a különböző talajtípusok eltérő fizika-kémiai, biológiai és pufferkapacitása mérsékelhetik, vagy erősíthetik a nehézfém-ionok káros hatásait.

Az 1994. évi LV. törvény a talaj védelméről szóló fejezet arra utal, hogy a talaj védelmét a termőföld minőségét veszélyeztető víz- és szélrózsió, a szélsőséges vízháztartási helyzetek, a szikesedés, a savanyodás és egyéb fizikai, kémiai és biológiai romlást, illetve szennyezést előidéző beavatkozások, folyamatok megelőzésére, valamint a talaj termékenységének fenntartása alkalmas, szakszerű talajvédő művelési eljárásokkal, talajvédelmi beavatkozásokkal és létesítményekkel kell biztosítani.

A NEHÉZFÉMEK TERJEDÉSE A TALAJOKON

A talajok nehézfém szennyeződéseinek lehetséges forrásai: fémbányászat, fémkohászat, ipar, atmoszférikus hatás, mezőgazdaság, szemét- és ipari szennyezőanyag tárolók, depók.

Az eltérő szennyezőforrásokból származó fémek eloszlására és mennyiségi viszonyaira nehéz általános következtetést levonni, mert egyes kibocsátó források főleg kis területre korlátozódó (ún. lokális) de nagyméretű szennyezést okozhatnak, míg mások rendszerint nagy területre terjedő és az egyenletes eloszlásból adódóan kisebb fokú szennyezést jelenthetnek.

A természetes állapot fenntartásával, az egészségre nem káros tápanyagok felvehetőségének biztosításával talajaink az egészségünk megóvásában és a fenntartható mezőgazdasági termelés biztosításában is alapvető szerepet játszanak. A közelmúlt „modern” mezőgazdasági gyakorlata azonban ezeknek a folyamatoknak a figyelmen kívül hagyásával, a műtrágyák, valamint növényvédőszeres sokszor indokolatlan, esetenként

túlzott mértékű használatával okozott környezeti károkat. Talajaink réz-, cink-, ólom-, mangán-, króm-, nikkell- és kadmiumtartalma műtrágyázás révén az utóbbi évtizedekben jelentősen növekedett. Ezen túlmenően általános gyakorlattá vált, hogy szennyvíziszapot komposztálás után trágyázásra használtak, mellyel köztudottan nagy mennyiségű nehézfém kihelyezése is megtörtént. Állíthatjuk ezt annak a ténynek az ismeretében is, hogy a trágyázásra engedélyezett komposztált szennyvíziszap önmagában nem tartalmaz határértéket meghaladó mennyiségben nehézfémeket (Balázs, 2000).

Berti és Jacobs (1996) utóhatás-vizsgálatokat végezve megállapították, hogy a kijuttatott szennyvíziszap nehézfém-tartalma (Ni, Zn, Cd) toxikus mennyiségben jelent meg a növényben.

A TALAJBAN LEZAJLÓ FOLYAMATOK

A nehézfémek az alkáliionokkal ellentétben igen erősen kötődnek a szerves anyaghoz, illetve kelát formában beépülnek. Legszembetűnőbb tulajdonságuk- fémkompleképző hajlamuk. A kelátok a nehézfémek felvételében és szállításában vesznek részt. A nehézfémek többnyire enzimaktivátorként fejtik ki hatásukat.

A talajoldat koncentrációját alapvetően az oldható vegyületek mennyisége és a vízellátottság szabja meg. A kémhatás az oldhatósági viszonyokat módosítja. A mikroelemek vegyületei – a Mo kivételével – savanyú közegben oldódnak legnagyobb mértékben. Erősen savanyú közegben a mikroelemek toxikus felhalmozódása következhet be. Lúgos közegben a tápelemek többsége rosszul oldódik. A szélsőséges pH-értékek a mikroszervezetek tevékenységét kedvezőtlenül befolyásolják, ezen keresztül pl. a nitrifikációt is. A makro- és mikroelemek együttes ellátása szempontjából a semlegeshez közel álló pH-értékek tekinthetők optimálisnak.

A talaj savanyúságát az ipari és lakossági szennyeződésekkel eredő savas esőkön kívül a nagy adagú műtrágyázás is fokozza. A műtrágyák közül az ammóniumsók és a karbamid savanyítják a talajt. Az ammóniumionok nitrifikációja során H^+ -ionok keletkeznek, ezért is kerülni kell a szükségesnél nagyobb ammónium-műtrágya adagokat. A foszfor- és káliumműtrágyák savanyító hatása az előzőknél kisebb mértékű. A savanyító hatás különösen a kolloidban szegény, kis pufferkapacitású talajokon érvényesül (Loch és Nosticzius, 1992).

A TALAJOK TÁPANYAG ELLÁTÁSA

A nitrogén, a foszfor és a kálium szervesen kémiai technológiája napjainkban lényegében véve a műtrágyagyártással kapcsolódik össze. A műtrágyákról az emberiség táplálékszükségletének biztosítása érdekében jelenleg és a belátható jövőben nem mondhatunk le, hiszen a növények tápanyagszükségletét – a szén, a hidrogén és az oxigén mellett fontos fő tápanyagokat, nitrogént,

foszfort, káliumot, továbbá nyomelemeket – a kívánt mennyiségben csak így elégeíthetjük ki. Látnunk kell azonban, hogy a felhasznált műtrágyák mennyisége és a növények által felvett hányad nem azonos, hiszen a tápanyag egy része a talajból kilúgozódva a talajszemcséken megkötődve vagy az atmoszférába jutva az abiotikus környezetbe visszamarad.

A szervesetlen tápanyagok (foszfátok, ammóniumsók, karbamid, nitrátok és káliumok) bejutva a természetes vizekbe, ezek eutrofizációját okozzák. Eutrofizációnak a növényi biomassa mennyiségének a felszíni vizekben bekövetkező, mértéken felüli megnövekedését nevezzük, amely ezen vízkészletek biológiai egyensúlyának megbomlásához vezet.

A fémek biológiailag nem bonthatók le, az élő szervezetekben felhalmozódhatnak, továbbá biokémiai reakciók során mérgező vegyületekké alakulhatnak át. Sok nehézfém az abiotikus

rendszerek (levegő/talaj, illetve víz/üledék) határfelületén felhalmozódik, majd fizikai vagy kémiai paraméterek megváltozásának hatására remobilizálódik. Az emberi aktivitás a nehézfémek mobilizációjához igen jelentős mértékben járul hozzá, és ahhoz vezet, hogy sok fém biokémiai anyagfolyamata ma túlnyomóan antropogén eredetű (Papp és Kümmel, 1992).

KADMIUM A TERMÉSZETBEN

A kadmium igen ritka elem, a földkéregbeli előfordulási aránya $10^{-5}\%$ nagyságrendű (1. táblázat). A Cd legismertebb önálló ásványa a ritkaságnak számító greenockit (CdS); általában cink- és ólom-(ritkábban: ón-) ércekben található, néhány %-nyi mennyiségben. A legfontosabb kadmiumércek-oxidok, szulfidok, illetve karbonátok. A Zn-kohászat melléktermékeiből nyerik ki (Ódor és mtsai, 1995).

1. táblázat

Jellemző cink- és kadmium koncentrációk a környezetben

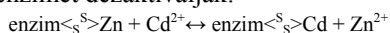
Tartomány(1)	Koncentrációegység(2)	Cink(3)	Kadmium(4)
Földkéreg(5)	mg/kg ⁻¹	75	0,11
Mélytengeri üledék(6)	mg/kg	165	0,42
Folyami üledék(7)	mg/kg	350	1
Talaj(8)	mg/kg	60	0,6
Folyóvíz(9)	µg/l ⁻¹	20	0,4
Tengervíz(10)	µg/l ⁻¹	30...120	0,1...0,6
Tengervíz (felszíni réteg)(11)	ng/l ⁻¹	7	1
Tengervíz (átlag)(12)	ng/l	70	10
Levegő (városi-ipari)(13)	ng/kg	300	3
Levegő (átlag)(14)	ng/kg	10	1
Ipari szennyvíz(15)	mg/l	5000	1000
Algák(16)	mg/kg	250	2
Főzelékfélék(17)	mg/kg	300	0,2...1,2
Halhús(18)	mg/kg	5	0,05

Table 1: Typical zinc and cadmium concentration in environment

Domain(1), Concentrations unit(2), Zinc(3), Cadmium(4), Earth's crust(5), Deep-sea sediment(6), River sediment(7), Soil(8), River water(9), Seawater(10), Seawater (surface streak)(11), Seawater (average)(12), Air (city-industrial)(13), Air (average)(14), Industrial sewage(15), Alga's(16), Vegetables(17), Fish meat(18)

A Cd legfőbb veszélye, hogy képes helyettesíteni az esszenciális cinket, annak jótékony élettani hatása nélkül. Mivel erősen toxikus, a cink helyébe beépülve súlyos károsodásokat okoz. És hogy a növények sokáig elviselik a magas Cd-tartalmat, a Cd könnyen bekerülhet az állati és emberi táplálékláncba jóval azelőtt, hogy maguk a növények láthatóan károsodnának.

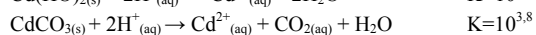
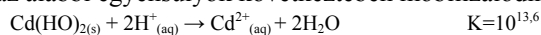
Míg a cink biológiai szempontból esszenciális elem, és igen sok enzim lényeges alkotórésze, a kadmiumvegyületek mérgező hatásúak, mivel a szulfidkénhez való nagy affinitásuk miatt a cinktartalmú enzimekből a cinkiont kiszorítják, és ez által az enzimet dezaktiválják:



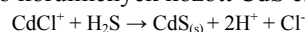
A Cd kb. 2/3 része a nemvasfémek (cink, réz) feldolgozása folytán kerül a légkörbe. További antropogén forrás a szeméttételezés, foszfátműtrágyák

előállítása, és egyéb magas hőmérsékletű folyamat. A Cd elsősorban a cinkérc-kitermelésből és más ipari tevékenységből kerül a vizekbe.

Rosszul oldódó kadmiumvegyületekből – CdCO₃, Cd(OH)₂, CdS – pH csökkenés hatására a kadmium az alábbi egyensúlyok következtében mobilizálódik:



Redukáló körülmények között CdS csapódik ki:



A kadmium körforgalmát a következő tényezők jellemzik:

- a környezetet évről-évre nagyobb mértékben terheli,
- mobilizálhatósága, „átviteli faktora” tízszer nagyobb, mint pl. az ólomé,
- kumulálódik a szervezetben, felezési ideje – 30 év.

A KADMIMUM ÉS AZ EMBERI SZERVEZET

Az élelmiszerek kadmium szintjének alakulásában az ipari nehézfém-emisszió, a bányászat, a hulladékégetők, a foszfát műtrágyák Cd-szennyezettsége, a komposztált városi kommunális szemét mezőgazdasági területen történő felhasználása és a fűtőanyagok égése játszik szerepet.

A kadmiumnak a talajból a növényekbe való átjutása számos tényezőtől függ. A növényekben 40-60% a levegőből, a többi a talajból a gyökereken keresztül jut. Az utóbbi mennyisége a talaj vegyhatásától is függ. A modellvizsgálatok szerint a pH-érték egy egységgel való csökkentése kb. egy nagyságrenddel növeli a kadmiumnak a növényzetbe és az élelmiszerekbe való átmosódási képességét. Az emberi Cd-expozícióban a zöldségek, a cereáliák (kenyér, sütőipari termékek, tésztafélék) és az állati eredetű élelmiszerek (hús, máj, vese) játszanak elsődleges szerepet (Kovács, 1997).

A Cd egészségkárosító hatásai a felvett mennyiségből, a terhelés tartósságától, a szervezet detoxikáló képességétől stb. függően jelentkeznek. Az egészséget károsító hatások közül kiemelés érdemel:

- a.) a vesekárosodás, főként a vese tubularis részében,
- b.) a reprodukcióra kifejtett káros hatás,
- c.) carcinogen hatás,
- d.) az egyéb hatások közül kiemelik a máj detoxikáló képességének a csökkenését és az immunsuppresszív hatást is.

Mínt hogy a környezet Cd-terhelése folyamatosan nő, a kérdés közegészségügyi szempontból nagy figyelmet, és az okozati összefüggések feltárása pedig további kutatásokat igényel.

A KADMIMUM MOZGÓSÁGA ÉS KÖTŐDÉSE

A kadmium a talajokban kötődhet a talajásványokon, a szerves anyagon és a Fe, Mn és az Al oxidokon, hidroxidokon. A kadmium kicsapódhat, mint karbonát (pl.: homokban, magas pH-n, ártérnél), szulfátok, foszfátok és ferrocianát alakban. Anaerob viszonyok között a Cd korlátozottan oldható. A Cd oldhatóságot legjelentősebben pH befolyásolja a talajban. Ha a pH 1 nagyságrenddel megnő, akkor a szorpció 3 nagyságrenddel nő meg (Loch és Nosticzius, 1992). Ha nő a Ca, Ni, főleg a Zn és a Cu koncentrációja – csökken a Cd szorpciója. Végül a Cd képezhet szerves és szervetlen komplexeket, ami szintén csökkenti a szorpcióját a talajon.

A többi nehézfémhez képest a Cd aktivitása bármely talajban a pH-tól függ. A legnagyobb mozgékonyaságot a savanyú talajokon éri el, 4,5-5,5 intervallumban, ugyanakkor a lúgos talajban viszonylag kevésbé mozgékony. A többi fémhez képest a kadmium szorpciója egy nagyon gyors folyamat, vagyis legtöbb esetben 10-15 perc alatt eléri a 95%-ot.

A Cd mozgósága a talaj-növény rendszerben a szennyezés nagyságától függ. Az alacsony szennyezéssel (1-5 mg/kg) a Cd jól megköt a talajban (egy speciális adszorpció által). Közepes (5-10

mg/kg) és magasnál (>10 mg/kg) a Cd nagy része (50-80%) egy oldatba megy át (acetát-ammonium puffer). Ezek az oldható, mozgalmas Cd formák képesek migrálni a talajvizekbe és felhalmozódni a növényekben. Az utolsó gátolya a mezőgazdasági növények növekedését, a terméshozam csökkenését és a termék minőségét.

EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A ma embere számára mind a biológiai, mind pedig a kémiai fémeltávolítás a fémekkel szennyezett talajokban nagy jelentőséggel bír. Talajainknak sok esetben a fölös mennyiségben meglévő elemei közvetlenül és közvetetten is szóródhatnak a környezetben. Ez a szóródás biológiai folyamatok útján és emberi beavatkozás segítségével is megtörténhet, ezáltal a toxikus koncentrációban jelenlévő fémek a talajból távolabbi talajba, a talajból felszíni és felszín alatti vizekbe, valamint a talajból közvetlenül és a növényzetten keresztül közvetetten a levegőbe kerülhetnek. A közvetett kijutás számos esetben a növényeket betegítő parazita, vagy a növényeket táplálékforrással hasznosító szaprofita mikroorganizmusokban akkumulálódva játszódik le. A mikrobákban lokalizált, döntően a citoplazmában vagy a sejtfalban fehérjékhez kötött fémek még fokozottabb veszélyt jelentenek az általuk kiváltott allergén reakciók miatt.

A mezőgazdasági művelésre alkalmas talajaink nehézfém tartalma főleg antropogén (Ernst, 1976; Ross, 1994) hatásra folyamatosan növekszik. Cambell és mtsai (1983) szerint így 15-ször több kadmium, 13-szor több réz, 21-szer több cink kerül a talajba, mint a természetes mállások során. Allaway (1990) és Fergusson (1990) adatai alapján a króm, a nikkell, a réz, a cink és a kadmium nagyobbik hányada a mezőgazdasági talajokba a trágyázásra használt szennyvíziszap, a komposzt, a szerves trágya, valamint a foszfát műtrágyák révén kerül. A talajba került nehézfémek, mint ahogy hosszantartó (ún. „longterm”) kísérletek is bizonyítják (Brewer és Barrett, 1994) könnyen bejutnak a vegetációba, illetve azok növényeibe, ahol mérgező koncentrációban is felhalmozódhatnak.

Ahhoz, hogy a talajban a fémek nagy koncentrációjában felhalmozott mennyiségeinek toxikus hatását megértsük, a talajból a növénybe való kerülését, a fémek akkumulációs folyamatait, a növényről vagy növényből a fémek kijutását tudjuk és értsük, valamint az egészségkárosodásban okozott hatásait ismerjük nagyon sok folyamat pontos ismerete és meghatározása szükséges.

A talajszennyeződések elleni védelem érdekében meg kellene határozni a talajt érő káros szennyeződések fajtáit és határértékeit a jogi-, a műszaki- és a talajtani szempontok szerint is egységesen kezelhető módon. A nehézségeket e téren az jelenti, hogy a toxicitás a terhelhetőség, a felvehetőség, a talajtulajdonságok és az élő szervezetek (faja, kora, állapota stb.) függvénye, továbbá, hogy a mindenkor adott helyi természeti és gazdasági viszonyok is különbözőek.

IRODALOM

- Allaway, B. J. (1990): The origin of heavy metals in soil. *Heavy Metals in Soil*. Blockie, London, Wiley, New York, 29-39.
- Balázsy S. (2000): Fémek szóródása az ökológiai rendszerekben. Bessenyei György Kiadó, Nyíregyháza, 10-15.
- Berti, W. R.-Jacobs, L. W. (1996): Chemistry and phytotoxicity of soil trace elements from repeated sewage sludge applications. *J. Environ. Qual.*, 25. 1025-1032.
- Brewer, S. R.-Barrett, G. W. (1994): Mechanism of Ecosystem Recovery Following 11 Years of Nutrient Enrichment in an Old-Field Community. In: *Toxic Metals in Soil-Plant Systems*. Ross, (Ed.) Wiley et Sons, Chichester, 275-301.
- Cambell, P. G. C.-Stokes, P. M.-Galloway, J. N. (1983): The effect of atmospheric deposition on the geochemical cycling and biological availability of metals. In: *Heavy Metals in Environment*. Heidelberg International Conference CEP Consultants, Edinburgh, 2. 760-763.
- Ernst, W. H. O. (1976): Physiological and biochemical aspects of metal pollution. In: *Effects of Air Pollutants on Plants*, Mousfield, T. A. (Ed), Univ. Press, Cambridge, 115-133.
- Fergusson, J. E. (1990): *The heavy Metal Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*. Pergamon Press, London
- Kovács F. (1997): Agrártermelés-Környezetvédelem-Népegészségügy: a Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium által támogatott Kutatási program 1997. évi összefoglaló tanulmánya
- Loch J.-Nosticzius Á. (1992): *Agrokémia és növényvédelmi kémia*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 24-30.
- Ódor L.-Horváth I.-Fügedi U. (1995): Országos Geokémiai Felvételek. I. Magyarország geokémiai térképsorozata, II. A regionális környezeti terhelés. MÁFI, Geokémiai Főosztály, T.: 17058.
- Papp S.- Kümmel R. (1992): *Környezeti kémia*. Tankönyvkiadó, Budapest, 264-266.
- Ross, S. M. (1994): Sources and Forms of Potentially Toxic Metals in Soil-Plant System. In: *Toxic Metals in Soil-Plant System*. Ross (Ed.) Wiley et Sons Chichester, 4-25.
1994. évi LV. törvény a termőföldről