

## A kémiai elemek légköri ülepedése és agronómiai/környezeti jelentősége

KÁDÁR IMRE - KONCZ JÓZSEF - RAGÁLYI PÉTER  
MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest

### Összefoglalás

2005–2008 között három éven át havi gyakorisággal vizsgáltuk két kísérleti telepünkön a csapadékvizek összetételét és elemhozamát. Az analízis 26 tulajdonságra terjedt ki: pH, EC,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , valamint a fontosabb makro- és mikroelemek meghatározására. Méréseink a teljes, tehát a nedves és száraz ülepedés együttes hatását tükrözik. A szűrletből közvetlenül mértük a Ca, Mg, K, Na, S, B elemeket, valamint a karbonátot, kloridot, ammóniát, nitrátot. A szűrletet az eredeti térfogat 1/4-ére bepároltuk  $\text{HNO}_3$  hozzáadása után a mikroelemek elemzése céljából. A mérések a karbonát, klorid, ammónia, nitrát kivételével ICP-OES készülékkel történtek. Főbb megállapítások:

- Általában a minimális havi csapadékösszeghez volt köthető a maximális vezetőképesség (EC), pH,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , Ca, Na, K koncentrációja. A legnagyobb elemhozamokat ugyanakkor a csapadékos hónapok biztosították. Az 5 pH alatti savanyú csapadék salétromsavat képező  $\text{NO}_3\text{-N}$ -ben gazdag,  $\text{NH}_4\text{-N}$ -ben szegény volt az Őrbottyán állomásunkon. A közeli cementgyár emissziója miatt 2006. február és március havi csapadéokban nagyságrenddel dúsult a Ca, Mg, Na, Sr, valamint jelentősen emelkedett az  $\text{NH}_4\text{-N}$ , S, Zn, As, Cr, Pb koncentrációja. A pH 7,0-re emelkedett ezen a termőhelyen.
- A mezőföldi állomáson a téli hónapok elemhozamai kicsik. A melegebb május-július hónapok között az  $\text{NH}_4\text{-N}$  koncentrációja 10–20-szorosa az  $\text{NO}_3\text{-N}$  koncentrációnak. A környező termékeny humuszos talajfelszín, a trágyázás, a közeli állattenyésztő telep jelentős  $\text{NH}_3$  emissziót képez. Ekkor nagy a  $\text{NH}_4\text{-N}$ , Ca, Na, K lúgosító kationok mennyisége a csapadékvízben, a pH januártól júniusig emelkedhet.

- A légköri csapadékkal okozott talajdepozíció kg/ha/év mennyisége az alábbi tág határok között változott telepeinken:  $\text{NO}_3\text{-N}$  5–20;  $\text{NH}_4\text{-N}$  10–31; összes N 30–48; Ca 6–60; K 6–16; S 2–21; Na 4–13; Mg 2–16; P 2–6 kg/ha/év. Az általunk mért kiülepedés a Zn, Mn, Fe, Cu, B elemek esetében közelálló a korábbi hazai, illetve ausztriai mérések eredményéhez. Az Pb, Ni, Cd, Co nehézfémek kiülepedését nagyságrenddel kisebbnek találtuk, mely az 1990 óta egész Európára jellemző drasztikus nehézfém-emisszió csökkenését tükrözi.
- A légköri csapadék elemhozamának agronómiai és környezeti jelentősége nem elhanyagolható. Számításaink szerint pl. a mezőföldi csernozjom termőhelyen egy közepes, 5 t/ha kalászos gabona szemterméssel és a hozzátartozó mintegy 5 t/ha mellékterméssel felvett K 10; Mg 15; P 20; Ca és N 30; S 40%-át fedezheti. Amennyiben kombájn betakarításnál csak a szemtermés elemtartalmával számolnak, mivel a melléktermés a táblán marad és visszakerül a talajba, a légköri forrás fedezhetné a P 25; K 45; S és a Ca 100–300%-át. A szembe épült Na mennyiségét pedig nagyságrenddel meghaladhatná.
- A légköri ülepedés többé-kevésbé fedezheti a Mo, Ni, Se mikroelemek szemtermésbe épült mennyiségét, a Zn szükségletét mintegy 60%-kal meghaladhatja. A B, Ba, Cu, Sr kiülepedés többszöröse az 5 t/ha szemtermés igényének. Agronómiailag előnyösnek minősülhet a Cu, Mo, Se, Zn elemekkel történő légköri trágyázás, amennyiben a talaj ezen elemekben nem (Zn, Cu) vagy nem kellően (Mo, Se) ellátott. Környezeti szempontból nemkívánatos jelenség viszont a talaj Cd, Hg és Pb nehézfémekben való gazdagodása, különösen hosszútávon. Ezek a toxikus fémek a vizekbe, illetve az élelmiszer és takarmány növények felületére jutva közvetlenül is károsíthatják az élelmiszerláncot.
- Méréseink szerint kísérleti telepeinken a 3 év alatt évente az alábbi minimális-maximális kiülepedést regisztráltuk: Zn 112–1391; Sr 30–202; Cu 21–153; Fe 42–119; Ba 40–79; Mn 33–62; B 0–33; Pb 2–4; Ni, Cr, Mo 0–6; As 0–4; Hg 0–1,5; Co 0,4–0,7; Cd 0–0,3 g/ha/év. A pH 4,2–7,0 között, az elektromos vezetőképesség 25–1996  $\mu\text{S/cm}$  tartományban ingadozott.

**Kulcsszavak:** légköri ülepedés, makro- és mikroelemek, agronómiai jelentőség, környezeti következmények

## The aerial deposition and agricultural/environmental importance of chemical elements

I. KÁDÁR– J. KONCZ – P. RAGÁLYI

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry  
of the Hungarian Academy of Sciences (RISSAC), Budapest

### Summary

Composition of precipitation and element load originated by rainwater were examined monthly between 2005 and 2008 on two Experimental Stations of the Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences. Twenty-five characteristics were analysed: pH, EC, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, and the concentration of the main macro- and microelements. This observation represents the dry and wet depositions together. Ca, Mg, K, Na, S and B elements as well as carbonate, chloride, ammonia and nitrate were directly measured from the filtrate of the precipitation. Then the filtrate was graduated to 25% of its original volume with the addition of HNO<sub>3</sub> for the microelement analysis. Measurements were made by ICP-OES device excluding carbonate, chloride, ammonia and nitrate. The main results:

- Generally, the lower amount of monthly precipitations resulted in higher EC, pH, NH<sub>4</sub>-N, Ca, Na, K concentrations. The highest element yields however, were typical for the wet months. Acidic precipitation under pH 5 was rich in nitric acid forming NO<sub>3</sub>-N, but poor in NH<sub>4</sub>-N at the Experimental Station in Órbottyán. Emission of the nearby cement plant caused an increase of Ca, Mg, Na, Sr elements with an order of magnitude compared to the other months and the concentrations of NH<sub>4</sub>-N, S, Zn, As, Cr, Pb also lifted considerably in the precipitation in February and March 2006 (see: Table 5, 1<sup>st</sup> half of the year). The pH reached 7.0 at this site.
- Depositions were small at the Mezőföld Station in winter. During the warmer months May, June and July NH<sub>4</sub>-N concentration exceeds the NO<sub>3</sub>-N concentration 10–20 times. The neighbouring fertile and humus rich soils, the fertilization, as well as the nearby animal husbandry farm make considerable NH<sub>3</sub> emission. In this period, the concentration of NH<sub>4</sub>-N, Ca and K alkalinising cations could rise the pH in the precipitation, and the pH increased from January to June.
- Aerial deposition varied widely at both sites representing the following values in kg/ha/year unit: NO<sub>3</sub>-N 5–20; NH<sub>4</sub>-N 10–31; total N 30–48; Ca 6–60; K 6–16; S 2–21; Na 4–13; Mg 2–16; P 2–6. The deposition of Zn, Mn, Fe, Cu, B elements in

- these sites were similar to previous Hungarian and Austrian data, however Pb, Ni, Cd, Co depositions were lower with an order of magnitude, which demonstrates the result of the successful heavy metal pollution control in Europe since 1990.
- Aerial deposition has considerable agronomical and environmental significance. According to the data obtained within this study the aerial deposition could substitute for 10% K, 15% Mg, 20% P, 30% Ca and N, 40% S element demand of an average 5 t/ha cereal grain yield with its 5 t/ha straw at the Mezőföld Station on this chernozem soil. When using combine-harvesting, the straw remains at the site and only the grain is removed, so 25% P, 45% K, 100–300% S, Ca and several fold Na, N element demand could be replaced with the aerial deposition.
  - Atmospheric deposition may more or less compensate the amount of Mo, Ni, Se built in grain, while exceed it by about 60% with Zn. The deposition of B, Ba, Cu and Sr is several times higher than found in the grain yield. The aerial fertilization with Cu, Mo, Se and Zn seems to be advantageous since the site is poor in Zn and Cu, or not satisfactory supplied with Mo and Se elements. However, the load of Cd, Hg and Pb is environmentally disadvantageous, especially on long-term. The latter harmful heavy metals can also get into waters, onto the surface of crops and directly damage the food chain.
  - The following minimal – maximal depositions were measured on the two Experimental Sites: Zn 112–1391; Sr 30–202; Cu 21–153; Fe 42–119; Ba 40–79; Mn 33–62; B 0–33; Pb 2–4; Ni, Cr, Mo 0–6; As 0–4; Hg 0–1.5; Co 0.4–0.7; Cd 0–0.3 g/ha/year. The pH varied between 4.2 and 7.0 while electrical conductivity between 25 and 1996  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Key words:** aerial deposition, macro- and microelements, agricultural importance, environmental consequences.

### Bevezetés és irodalmi áttekintés

A növények alapvetően a talajból és a levegőből táplálkoznak. Az atmoszférából származó  $\text{CO}_2$ , valamint a csapadékból vagy a talajból származó  $\text{H}_2\text{O}$  biztosítja a fotoszintézishez szükséges összetevők 90–95%-át. A növények szárazanyagának átlagosan 45–50%-át a C, 40–42%-át az  $\text{O}_2$ , 5–6%-át a H alkotja. Igaz, hogy a terméseink nagyságát gyakran éppen a talajból felvett 5–10%-ot kitevő oldható ásványi elemek mennyisége határozza meg a szárazföldi és a vízi rendszerekben egyaránt (Kádár 1992).

Az állati vagy emberi légzés, valamint az energiahordozók égetése, a bomlás, rothadás termékei a levegőt „elrontják”, szennyezik. Ismeretes, hogy *Priestley* 1775-ben igazolta, hogy a növények az ilyen levegőt megtisztítják. Amikor az üvegharang alá egy cserép növényt tett, az egér életben maradt. Később felfedezte és meghatározta az oxigént is. *Ingen-Housz* 1779-ben rámutatott, hogy a folyamat csak fény jelenlétében megy végbe. Fény hiányában a növények is „elrontják” a levegőt. *Saussure* (1804) a levegő és különböző gázok hatását vizsgálta a növényre, kísérletesen bemutatva a CO<sub>2</sub> asszimilációját és az O<sub>2</sub> termelését fényben. A növény elpusztul CO<sub>2</sub> hiányában, C-forrásul a légkör szolgál. A hamuelemeket pedig döntően a talajból nyeri vízben oldott sók formájában.

A légkör kerekén 78 tf% N<sub>2</sub>-ből, 21% O<sub>2</sub>-ből és 1% egyéb gázokból, döntően argonból áll. A levegő összetételének kutatása több mint két évszázada tart. *Mészáros* (2005) átfogó tanulmánya arról szól: „Hogyan fedezték föl a levegőt?”. A N felfedezése *Rutherford* 1772-ben végzett munkájához köthető. A XIX. század az ózon és a nemesgázok, a XX. század főképpen a nyomokban előforduló gázok és az aeroszol részecskék kémiájának időszaka. A légkör állandó összetevőin kívül számos egyéb gáznemű, cseppfolyós és szilárd halmazállapotú anyagot tartalmaz kis koncentrációban. Ezek a nyomanyagok, üvegházhatású gázok, szennyeződések részben természetes forrásból (vulkanikus és kozmikus porok, óceán és talajfelszín kibocsátásai stb.), részben emberi tevékenységből erednek.

*Liebig* (1840–1876) tévesen feltételezte, hogy a talaj nem tud N-t szolgáltatni, mert csupán az atmoszférából „kölcsonzott” N-t tartalmazza. Szerinte a növényi N-felvétel forrása a légkör ammónia és nitrát készlete. Különösen a nagylevelű takarmánynövények N-ellátásában hangsúlyozta a légkör szerepét. A pillangósok N-kötése ekkor még nem volt tisztázott. A szerző 1826. és 1827. években 77 esővíz analízist végzett. Megállapítja, hogy: „Minden esőzés megszabadítja az atmoszférát az ammóniától és a salétromsavtól.” Az NH<sub>4</sub>-N a hóból nyert vízből sem hiányzik és maximumát az esőzés/havazás kezdetén tartalmazza.

Irodalmi adatokat összegezve hangsúlyozza, hogy az esővíz általában télen gazdagabb ammóniában, mint nyáron. Melegebb évszakban több nitrát képződik, különösen zivatarok idején. A nitrát és az ammónia tartalma között fordított arány állhat fenn. A több csapadék N-hozama is több. A városok felett több N képződik. Lyonban pl. 1853-ban 38,2 kg N jutott 1 ha területre. A harmat,

köd és zúzmara  $\text{NH}_4\text{-N}$  tartalma kiugró lehet. Míg a gleccserjég megolvasztott vízében 2 mg/l, a zúzmara vízében 70 mg/l, Párizsban a sűrű köd összegyűjtött vízében 138 mg/liter ammóniát találtak. Harmattal, ködös szitálással, zúzmarrával annyi  $\text{NH}_4\text{-N}$  juthat esetenként a talajba, mint az éves esővel. Különösen igaz lehet ez a csapadékszegény fennsíkokon, ahol a növények víz-és N-szolgáltatásához egyaránt érdemben járulhat hozzá (Liebig 1840–1876).

Németországban az első mezőgazdasági kísérleti állomás 1851-ben létesült Lipcse mellett, Möckernben. Nobbe szerint (cit. in: Deller 1988) alig 15 évvel később már 21 kísérleti állomás működött. Az állomásokon rendszeresen gyűjtötték a csapadékot és összetételét is mérték. Itthon Kazay (1904) vizsgálta a csapadék ammónium és nitrát koncentrációját Ó-Gyallán 1902–1904 között. Az  $\text{NH}_4\text{-N}$  kerekén 12 kg/ha,  $\text{NO}_3\text{-N}$  5 kg/ha volt 1992-ben, tehát 17 kg/ha/év N-üledést talált. Irodalmi adatokra utalva konstatálja, hogy az  $\text{NH}_4\text{-N}$  2–3-szor meghaladhatja a  $\text{NO}_3\text{-N}$  mennyiségét. Az  $\text{NH}_4\text{-N}$  főként az alacsonyan úszó felhők csapadékában dúsulhat, mert jórészt a föld felszínéről kerül a levegőbe. Maximuma januárra, minimuma júliusra esik, mert a víz kevesebb gázt tud elnyelni nagyobb hőfokon. Az első esőcseppek, nyáron pedig a jégeső gazdag ammóniában. Agronómiai jelentőségére utalva a csapadékkal bejutó N-nek az alábbiakat jelenti ki: „Egy-egy kövér eső annyi termékenyítő nitrát és ammónia vegyületet hoz a földre könnyen asszimilálódó állapotban, hogy érték tekintetében 30 kg műtrágyával felér.”

Kozák és Mészáros (1971) összefoglalták a csapadékvíz összetételére vonatkozó irodalmi adatokat érintve Európa, Észak-Amerika, Afrika, Ausztrália közléseit. Mintavételeket 1968–1970 között 8 meteorológiai állomáson végeztek Magyarországon. Meghatározták az esővíz pH-ját, elektromos vezetőképességét, valamint a fontosabb makroelemek koncentrációit. Az üledést kg/ha/év adatokkal jellemezték. Az évek és a mintavételi helyek átlagában 15 kg N (9 kg  $\text{NH}_4\text{-N}$  + 6 kg  $\text{NO}_3\text{-N}$ ), 24 kg S, 28 kg Ca, 9 kg Na és Cl, 7 kg K és 0,1–0,2 kg P volt az üledés. Véleményük szerint ...”A csapadék elsősorban mint S-forrás lehet jelentős a növényi táplálásban.”

A mért adatok között kapcsolatokat keresve megállapították, hogy a csapadék mennyiségével a koncentráció csökken, a terhelés viszont nő. Az összetétel a talajfelszín befolyásolja. A karbonátos, szikes talajú Alföldön nő a Ca, Na, K, Cl mennyisége, mely kiugró volt pl. a Hortobágy-halastó állomáson. Az elemek dúsulása követi az elektromos vezetőképességet. A koncentrációk télen nagyobbak, mert kevesebb a csapadék, lecsökken a légcseré és a fűtés is szeny-

nyez. A pH pozitív korrelációt mutatott a  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$  kationok mennyiségével, maximumát az Alföldön találták. A  $\text{SO}_4^{2-}$  és a  $\text{NO}_3^-$  anionok és a pH közötti összefüggés nem volt igazolható, mely elvileg negatív lehetne. Az  $\text{NH}_3$  forrása főként a karbonátos talaj, nagyobb állatsűrűség esetén az állati vizelet és a települések, szemételepek (Kozák és Mészáros 1971).

Munger (1982) az Egyesült Államokban arra utal, hogy a savas csapadék fő oka a szénégetés által emittált S és N, illetve a légkörben felhalmozódó  $\text{H}_2\text{SO}_4$  +  $\text{HNO}_3$  elegye. Az USA középanyugati területének csapadékvíz kémiáját nyugatról a bázikus por, szélerózió és a préri-talajok művelt felszínéről felszabaduló ammónia, míg keletről az ottani ipar által kibocsátott savképző anyagok mérlege alakítja. A pH 4,5–6,5 között változhat. A savas csapadék, a növekvő savterhelés veszélyezteti az élővizeket és az érzékeny Ca-hiányos talajokat.

Shewchuk (1982) Kanadában a meghatározó nedves ülepedéssel 1–24 kg/ha/év S és 0–11 kg/ha/év  $\text{NO}_3\text{-N}$  mennyiségeket azonosított az ország eltérő vidékein. Véleménye szerint szükséges bővíteni a monitoring rendszert és kiterjedtebb víz és hó mintavételezést folytatni. Enélkül nem leszünk képesek a hatósági emissziós határértékeket megbízhatóan kijelölni. Odén (1979) Dél-Svédországban 25 kg/ha/év S ülepedéssel számolt, melyet az ottani elsavanyodó élővizekre rendkívül veszélyesnek ítélt. Megemlítjük, hogy a S-emisszió drasztikus visszafogása nyomán északnyugat Európa számos vidékén ma már a talajok, illetve növények S-hiányról, illetve a S-trágyázás hatékonyságáról esik szó.

A csapadékvíz biztosítja a légkör tisztulását, kémiai összetétele tükrözi annak szennyezettségi fokát. Mint természetes tápanyagforrás, szerepet játszik a talaj-növény rendszer elemforgalmában. Jelentőségének megítélése tehát egyaránt fontos lehet agronómiai, talajtani – agrokémiai és környezetvédelmi szempontból. Az összetevők változhatnak. Ipari körzetek, városok, sűrűn lakott vidékek közelségében más lesz a csapadékvíz összetétele, mint a mezőgazdasági területek, bolygatatlan erdők, érintetlen sztyeppek vagy az óceánok térségében. Tengerpartokon pl. kiugró lehet a Cl és Na, részben a N, K, S, Mg mennyisége. A humán aktivitás jellegéből adódóan bármely elem emissziója megnőhet.

Mivel a csapadékvíz összetétele rendkívüli mértékben ingadozhat, célszerű adatsorokkal dolgozni és óvatosan általánosítani. Nagy lehet a szennyeződés veszélye a mérés folyamán, hiszen nyomelemek esetében  $\mu\text{g/liter}$  koncentrációkkal dolgozunk. És éppen ilyen nyomelemek esetében ma már az emberi

tevékenység játszik kulcsszerepet a regionális és globális légköri ciklusban. Az 1980-as évek adataira támaszkodva *Nriagu és Pacyna* (1988), illetve *Nriagu* (1989) úgy becsülte, hogy a légköri Pb 96, Cd 85, V 75, Zn 66, Ni 65, As 61, Hg és Sb 59, Cu 56, Mo 52, Se 42, Cr 41%-a globálisan tekintve humán eredetű. Megállapították, hogy gyorsan halmozódnak a toxikus elemek a levegőben, vizekben, talajokban, illetve a tápláléklánc egészében. Mindez ismeretlen kockázatot jelent a jövő generáció számára.

A természetes/humán források arányát, illetve relatív hatását az úgynevezett dúsulási tényező (EF: enrichment factor) jelzi. A döntően talajeredetű elemek dúsulási tényezője közelít az 1-hez, a talajösszetételekhez, általában kisebb, mint 5. A légszennyező elemeké e feletti. A száraz felszín mállásából származó talajalkotó elemek általában nagyobb részecskéket alkotnak, gyorsabban kiülepednek. A légszennyező mikroelemek részben az 1  $\mu\text{m}$ -nél kisebb sugarú aeroszolhoz kötődnek és a mozgásukat a hosszútávú transzport jellemzi (*Mészáros et al.* 1993).

Hazánkban *Horváth és Mészáros* (1984), valamint *Molnár et al.* (1993) végeztek átfogó méréseket. A háttérszennyezést reprezentáló K-pusztán a Si, Al, Ti, Fe, Ca, K talajalkotók érdemi, 5 feletti dúsulást nem mutattak. A S és As 2–3-ezerszeres, Pb és Zn több-százszoros dúsulást, szennyezést mutatott. Budapest belvárosában 20-szoros volt az aeroszolban mért Pb mennyisége a háttérszennyezéshez, illetve 8000-szeres a normál talajösszetételhez képest. Hasonlóan erős légszennyezést találtak a S, Zn, As esetében. A Cl 380, Cu 160 dúsulási együtthatóval volt jellemezhető.

Ross (1987) az egyes szennyező elemeknél Dél-Svédországban az alábbi dúsulási együtthatókat állapított meg a normál talajösszetételhez viszonyítva: Cd 500–2600, Pb 450–1600, Zn 200–1400, Cu 28–110. Szerinte a szennyezés nagy része Európából származik, nem a helyi emisszióra vezethető vissza. Erre utal, hogy szoros a korreláció a Cd, Zn, Pb és a  $\text{SO}_4^{2-}$  között, mely a hosszú távú transzportot tükrözi. *Gray et al.* (2003) Új-Zéland legelőin 2 éven át mérték a légköri ülepedést. A csapadék mennyisége 734–1495 mm között ingadozott, a vezetőképeség 31–112  $\mu\text{S}/\text{cm}$  volt. A Zn 1025, Cu 35, Cr 28, Pb 23, Cd 0,2 g/ha/év átlagos terhelést mutatott. Szerzők a kiugróan nagy Zn-terhelés feltételezett okaként a háztetők gyakori galvanizált ZnO-os lemezborítására utaltak.

*Bozó és Horváth* (1992) szerint az ülepedés, az Pb, Zn, Cd depozíciója a hazai kibocsátást, az emissziót meghaladta az 1984–1988. években. Főként a „Fekete háromszög”, a cseh-lengyel-NDK sziléziai iparvidék exportálta a ne-



hézfém-terhelést az É-Ny-i szelekkel. Felső-Szilézia legszennyezettebb része Katowice térsége, ahol 14 acélmű és olvasztó, 55 érc- és szénbánya, valamint 23 erőmű működött. Itt összpontosult az ország széntermelésének 98%-a, valamint az Pb és Zn előállítás 100%-a. Az összes kiülepedés maximuma elérte a 7,8 kg/ha/év Pb, illetve 369 g/ha/év Cd mennyiséget. A talajok, növények erősen szennyeződtek, a térség egy része mezőgazdasági hasznosításra alkalmatlanná vált (*Kucharski et al.* 1994).

Az extrém szennyezés példája Lengyelországban a Pulawy városa melletti N műtrágyagyár, mely 1966 óta évente 20 ezer t N-emissziós forrást jelentett. A légkörbe jutó  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  és karbamid gőz/por terhelés nyomán közel 1000 ha erdő pusztult el a gyár közvetlen közelében. A kihelyezett liziméteres kísérletekben a növények a N-t kizárólag a levegőből nyerik. A 0–10 cm feltalajban az  $\text{NH}_4\text{-N}$  maximuma elérte a 293 kg/ha,  $\text{NO}_3\text{-N}$  a 248 kg/ha mennyiséget. Április és szeptember közötti tenyészidő alatt a legszennyezettebb pontokon 133 kg/ha  $\text{NH}_4\text{-N}$  + 118 kg/ha  $\text{NO}_3\text{-N}$  jutott a talajba csapadékkal. A kukorica és a füvek termése megtöbbszöröződött a kontrollhoz viszonyítva és a N-túltáplálást az igen erős zöld szín is jelezte (*Chojnacski és Zorawska* 1980).

*Warda et al.* (1980) szintén Lengyelországban, egy metallurgiai gyár körzetében lizimétereket helyeztek el szennyezetlen talajjal és 2 év után mérték az ülepedés hatását a talajban és a természetett növényekben. A 0–15 cm talaj eredeti Zn-készlete 15-szörösére, Pb-tartalma 25-szörösére, S-tartalma 2-szeresére nőtt. A 0,1 N EDTA oldható tartalmakban általában két nagyságrendbeli emelkedést regisztráltak. A földfeletti növényi hajtásban a Zn 40-szeres, Pb 24-szeres, S 6-szoros dúsulást jelzett a kontroll területéhez viszonyítva. A talaj- és növényvizsgálat jó indikátora lehet a légköri szennyezésnek, állapítják meg a szerzők. A gyár körzetében a mezőgazdasági tevékenység 1966. óta szünetel.

*Mansfield és Freer-Smith* (1981) vizsgálták a városi légszennyezés növényi növekedésre gyakorolt hatását Angliában. A növények fejlődése elsősorban a levegő S-mentességével volt pozitív kapcsolatban. A  $\text{SO}_2$  mérgező hatása bizonyos koncentráció felett jelentkezik és függ a növényfajtól, expozíciós időtől, valamint egyéb gázok jelenlététől. A másodlagos szennyezők, mint az  $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_x$ , fotókémiai szmog anyagai, a gépkocsi kipufogógázok nem teljesen elégett szénhidrogén termékei szintén növelik a toxicitást. A városi levegőben a gépkocsiforgalom miatt a  $\text{NO}_x$  is dúsul. Fontos utóbbiban a  $\text{NO}:\text{NO}_2$  aránya, mert a  $\text{NO}_2$  erős mérég. A  $\text{SO}_2+\text{NO}_2$  együttes hatása tartós fumigációnak minősül

télen, amikor a fűtés szennyező hatása is hozzáadódik a ködös, lecsökkent légszerével rendelkező városi légrétegekhez. A városi levegőben tehát az egyedi gázok (SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, stb) toxicitása is nőhet, mert hatásuk összeadódik, a mérgezőbb NO<sub>2</sub> redukcióját a SO<sub>2</sub> pedig gátolhatja.

A légköri terhelés jelentőségét országosan becsülve *Anderson* (1992) felállította Svédország mikroelem mérlegét az 1900–1990. évekre. Véleménye szerint a növénytermesztő gazdaságok talajai szegényednek Zn, Cu, Mn elemekben, míg az állattenyésztő üzemekben lassan gazdagodnak a takarmánykiegészítő Zn, Cu és Mn só-terhelés miatt. Minden talajon nő az Pb, Cd, Hg elemek koncentrációja a légköri terhelés és a helyenkénti szennyvíziszap-kihelyezés nyomán. Az utóbbi változások kismérvűek, de nemkívánatosak. A növények Cd tartalma megkétszereződhetett a vizsgált 90 év alatt. A művelt talajrétegben hígulási effektus érvényesülhetett, hisz a szántás mélysége a korábbi 15–20 cm-ről 20–25 cm-re nőtt. Az erdő sérülékeny vékony feltalajában ugyanakkor helyenként az Pb-készlet 15 mg/kg-ról 60–65 mg/kg-ra emelkedett, több mint megháromszorozódott. Veszélyeztetettek az elsavanyodó élővizek. A jövőbeni cél csak a fenntarthatóság lehet, szögezi le a szerző.

*Sager* (2008) Ausztriában saját és irodalmi utalásokra támaszkodva a mikroelemek légköri ülepedését 1999–2000. években az alábbi átlagadatokkal jellemezte: Zn 308, Cu 110, Ni 30, Pb 24, Cr 12, Cd 2 g/ha/év. A műtrágyákkal okozott talajterheléssel összehasonlítva megállapítja, hogy a Cr és a V elemeknél a műtrágyák, míg az Pb és Zn elemeknél a légköri terhelés a meghatározó. Az As, Cd, Ni elemek esetében megközelítően azonos forrást jelenthet a légköri depozíció és az alkalmazott műtrágyák elemszennyezettsége.

Magyarország mikroelem mérlegét az 1980-as évek adataira támaszkovva *Kádár* (2005) kísérte meg felállítani. Országos felmérések eredményei szerint művelt talajaink nem szennyezettek mikroelemekkel, nehézfémekkel. Nemzetközi összehasonlításban alacsony ellátottságot mutatott a búza és a kukorica termőhelyek 55%-a Zn, 39%-a Cu, 31%-a Mo, 25%-a Mn és Co, 20%-a Se elemek tekintetében (*Sillampäa* 1990, *Kádár* 1995). A szennyezettebb ipari, városi és közlekedési környezetben ugyanakkor kimutatható volt a talajok és növények emelkedett Zn, Cu, Cd és részben Ni akkumulációja.

Mikroelem szennyezőkben leggazdagabbak a foszforműtrágyák. Elemzéseink szerint (*Kádár* 1992) a hazai szuperfoszfát-gyártás alapanyagául szolgáló import Kóla-foszfátok általában egy nagyságrenddel több Ga, Mn, Sr, illetve egy nagyságrenddel kevesebb Cd, Cr, Ni, Zn tartalommal rendelkeztek, mint

az Észak-Afrikából származó nyersfoszfátok, melyeket Nyugat-Európa használt. Talajaink nem szennyeződtek a legveszélyesebbnek ítélt mérgező elemmel, Cd-mal. Becsléseink szerint az 1980-as években, az intenzív műtrágyázás idején kb. 30 g As, 8 g Zn és Cu, 4–5 g Pb, 1–2 g Se, 0,8 g Cd és 0,4 g Ni terheléssel járt a műtrágyahasználat országosan ha-onként. A műtrágyázás nem minősült érdemi szennyezőnek, részesedése 5–10% volt az összes terhelésben. Kivételt ez alól az As jelentett szuperfoszfát formájában, mely az összes terhelés akár 2/3-át adhatta (1. táblázat).

1. táblázat. *Mezőgazdaságilag művelt talajok becsült mikroelem mérlegének egyenlegei Magyarországon az 1980-as években, g/ha*  
(Kádár 2005)

Mérleg tételei (1)	Zn	Pb	Cu	Ni	As	Cd	Se
Bevétel (2)							
Műtrágyák (3)	8	5	8	<1	30	0,8	1,5
Szerves trágyák (4)	180	30	60	15	15	1,5	1,5
Szennyvíziszapok (5)	50	17	17	3	2	0,3	1,7
Meszezőanyagok (6)	2	<1	1	<1	<1	<0,1	<0,1
Melléktermékek (7)	80	8	60	7	<1	0,8	0,5
Csapadék (8)	200	70	24	15	1	5,0	*1,0
Összesen (9)	520	130	170	40	47	8,4	6,2
Kiadás (10)							
Növényi felvétel (11)	200	10	100	10	1	1,0	1,0
Kimosódás (12)	20	10	5	5	4	1,0	0,5
Elillanás (13)	–	5	–	–	5	–	1,0
Összesen (9)	220	25	105	15	10	2,0	2,5
Egyenleg (14)	+300	+105	+65	+25	+38	+6,4	+3,7
Bevétel a kiadás %-ában (15)	236	520	162	267	480	420	248

\*Szóbeli közlés: Molnár Ágnes, Veszprémi Egyetem Levegőkémiai Csoport.

*Table 1.* Estimated microelement-balance in agricultural cultivated soils in Hungary in the 1980's, g/ha (In: Kádár 2005). (1) Balance items, (2) Input, (3) Mineral fertilizers, (4) Organic fertilizers, (5) Sewage sludge, (6) Liming materials, (7) By-products, (8) Precipitation, (9) Total, (10) Output, (11) Plant uptake, (12) Leaching, (13) Volatilisation, (14) Total balance, (15) Input % compared to output. \*Verbal information from Ágnes Molnár, Atmospheric chemistry group, University of Veszprém.

A szervesműtrágyázás jelentős terhelésnek bizonyult a Zn, Pb, Cu, Ni, As elemek tekintetében. Legnagyobb súllyal viszont a csapadékkal talajba jutó lég-

köri terhelés növelte a bevételt a Zn, Pb, Cd és részben a Ni nehézfémek mérlegében. Az *1. táblázatban* bemutatott eredmények szerint a vizsgált mikroelemek mérlege pozitív egyenleget mutatott. Az Pb és az As bevételt mintegy 5-szörösen, Cd 4-szeresen, Se 2,5-szeresen, Zn és Ni 1,5-szeresen haladta meg a kiadási oldalt. A helyzet azóta megváltozott. Az 1990-es éveket követően közel 1/5-ére zuhant az Pb-terhelés az Pb-mentes benzín bevezetésével, illetve hasonló mértékben esett vissza az As-terhelés a szuperfoszfát műtrágyázás csökkenésével. A sziléziai „Fekete háromszög” Pb, Cd, Zn exportja is drasztikusan mérséklődött a korábbi iparvidék átalakulása nyomán.

### Anyag és módszer

A mintavételek az MTA TAKI két kísérleti telepén, a mezőföldi Nagyhörcsök és a Duna-Tisza közti Órbottyán termőhelyen folytak, ahol rendszeres csapadékméréseket végzünk immár fél évszázada. A csapadék mennyiségét az úgynevezett Hellmann-rendszerű csapadékmérővel mérjük, melynek két fő része a bádogból készült felfogó edény és az üvegből készült mérőhenger. Az 1 m magasságban kihelyezett készüléket az általános meteorológiai gyakorlat szerint naponta egyszer, reggel 7 órakor ürítjük. A mérés 0,1 mm pontossággal történik. A szilárd halmazállapotú hó, dara, ónos eső, jégeső esetén a mérés az előzetes megolvasztást követően történik. A harmatot, deret, zúzmarát nem számítjuk csapadéknak.

A csapadékot hűtőszekrényben tároltuk és havonta analizáltuk 26 tulajdonságra. Az ásványi elemek mérése ICP technikával történt. Meghatároztuk a csapadékvíz pH-ját, elektromos vezetőképességét, valamint a makro- és mikroelem tartalmát, illetve  $\text{NH}_4\text{-N}$  és  $\text{NO}_3\text{-N}$  koncentrációját. A csapadék mennyiségét az elemkoncentrációkkal szorozva számítottuk az elemhozamokat, tehát a kiülepedést. Megemlítjük, hogy a csapadékmérőbe nem csak az eső, hanem az aeroszol részecskék úgynevezett száraz ülepedése is juttathat különböző anyagokat. Méréseink a nedves és száraz ülepedés együttes hatását tükrözik. Irodalmi adatok szerint azonban a száraz ülepedés részaránya az elemenként eltérő lehet és általában 5–10% körüli, hibahatáron belül maradhat.

A csapadékmérő bádogból készült felfogó edényeinek esetleges szennyező hatását külön is vizsgáltuk. Desztillált vizet az edényben 3 napon át állni hagytuk, és ezt követően analizáltuk. Utána a 4 pH-jú desztillált vizet 3 napon át állni hagytuk az edényben, és ezt követően elemeztük a savanyított desztillált vizet.

A pH-t potenciometriásan, az elektromos vezetőképességet (EC) konduktometriásan az eredeti mintákból határoztuk meg. Szűrés a víz zavarosságától függően finom pórusú szűrőpapíron vagy a 0,45 µm pórusméretű baktériumszűrőn történt. A szűrletből közvetlenül mértük a Ca, Mg, K, Na, B, S elemeket, valamint a karbonátot, hidrogénkarbonátot, kloridot, ammóniát, nitrátot és szükség szerint a szulfátot. Utóbbit csak akkor, ha a vízben szulfidokra utaló nyomokat tapasztaltunk és ezüstnitráttal ellenőriztük. Egyébként a ként mértük. A karbonátot, hidrogénkarbonátot acidimetriásan, szulfátot jodometriásan, kloridot argentometriásan, az ammóniát és a nitrátot Wagner-Parnas vízgőzdesztillációval, nitrátredukciót Dewarda ötvözetrel végeztük (MSZ ISO 5667-10).

Ezt követően a szűrletet az eredeti térfogat 1/4-re bepároltuk salétromsav savanyítás után a mikroelemek vizsgálata céljából. A 4×-es töményítés eredményeképpen 4×-es kimutatási határjavulást lehet elérni. Kimutatási határok az alábbiak szerint alakultak a mikroelemeknél: Cd, Co, Fe, Mo 0,1–0,2 µg/l; Cr és Hg 0,5–0,6 µg/l; Ba, Mo, Ni 0,9–1,1 µg/l; Cu és Pb 1,3–1,5 µg/l; Zn és As 1,6–1,8 µg/l; Se 2,5–3,0 µg/l; Al 6,3 µg/l. A makro- és a mikroelemeket egyaránt ICP-OES készülékkel határoztuk meg. Kimutatási határ a makroelemekre: K, P és S 2,5 µg/l; NH<sub>4</sub>-N és NO<sub>3</sub>-N 0,7 µg/l, Ca és Mg 0,5 µg/l.

### Eredmények megvitatása

A csapadék mennyisége, vezetőképessége, pH, valamint az elemkoncentrációk és elemhozamok közötti kapcsolatokat a 2. táblázatban tanulmányozhatjuk. A táblázat a Duna-Tisza közti Órbottyán Kísérleti Telep 2007. I. félévének adatait mutatja be havi bontásban. Látható, hogy a minimális 4 mm április havi csapadékösszeghez köthető a maximális vezetőképesség, pH, NH<sub>4</sub>-N, Na és K koncentráció, illetve a NO<sub>3</sub>-N hiánya. A maximális elemhozamot ugyanakkor a leginkább csapadékos május és június biztosította. Erősen savanyú a márciusi csapadék 4,2 értékkel. Megfigyelhető, hogy az 5 alatti pH értékeknél általában kifejezett, 3–5-szörös a salétromsavat képező NO<sub>3</sub>-N túlsúlya a pH-növelő NH<sub>4</sub>-N mennyiségéhez viszonyítva. A NO<sub>3</sub>-N túlsúlya a N-hozamban is tükröződik. A vizsgált félév alatt összesen 14 kg N, 10 kg Ca, illetve 2–3 kg Na és K kiülepedés történt ha-ra vetítve. A S mennyisége csak nyomokban volt kimutatható. A II. félévben ilyen látványos és tanulságos különbségek nem alakultak ki sem a csapadékvíz havi mennyiségében, sem annak összetételében, így részletes taglalásuktól eltekintünk.

2. táblázat. *A havi csapadék mennyisége, vezetőképessége, pH, Ca, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, S, Na és K koncentrációk, illetve az elemhozamok alakulása 2007-ben (Duna-Tisza köze, karbonátos homoktalaj, Órbottyán)*

Hónapok 2007-ben (1)	Csapa- dék mm (2)	Vezető- képesség μS/cm (3)	pH	Ca	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	S	Na	K
				Koncentráció, mg/l (4)					
I.	31	62	4,5	3,6	0,7	4,0	ny	1,1	1,1
II.	46	54	4,8	3,4	1,1	3,6	ny	1,1	0,9
III.	39	78	4,2	4,4	0,8	4,0	ny	0,7	0,7
IV.	4	140	7,2	4,7	11,6	0,0	ny	1,2	3,1
V.	58	71	6,9	1,9	5,5	1,7	ny	1,2	1,2
VI.	61	86	4,5	7,7	0,7	5,8	ny	0,9	2,0

  

Hónapok 2007-ben (1)	Csapa- dék mm (2)	Vezető- képesség μS/cm (3)	pH	Ca	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	S	Na	K
				Elemhozam, kg/ha (5)					
I.	31	62	4,5	1,1	0,2	1,2	ny	0,3	0,3
II.	46	54	4,8	1,5	0,5	1,6	ny	0,5	0,4
III.	39	78	4,2	1,7	0,3	1,6	ny	0,3	0,3
IV.	4	140	7,2	0,2	0,5	0,0	ny	0,0	0,1
V.	58	71	6,9	1,1	3,2	1,0	ny	0,7	0,7
VI.	61	86	4,5	4,7	0,4	3,6	ny	0,5	1,2
Össz. (6)	239	-	-	10,3	5,2	9,0	-	2,4	3,1

Table 2. Amount, electrical conductivity, pH, concentrations of Ca, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, S, Na and K of the monthly precipitation as well as element yield in 2007 (Danube-Tisza mid region, calcareous sandy soil, Órbottyán). (1) Months in 2007, (2) Precipitation, (3) Conductivity, (4) Concentration, (5) Element yield, (6) Total.

A 3. táblázatban a mezőföldi telepünk 2007. évi eredményeit ismertetjük. Április csapadékmentes volt. A vezetőképesség, pH, valamint a Ca, NH<sub>4</sub>-N, S, K elemkoncentrációk maximumai a nyári, júliusi aszályos hónapokhoz köthetők. Az elemhozamok tekintetében (Ca, NH<sub>4</sub>-N, S, K) viszont a 84 mm-rel rendelkező május bizonyult a legproduktívabbnak. Úgy tűnik a téli hónapok elemhozamokban szegényebbek. A pH értéke egész évben 5 felett maradt. Az NH<sub>4</sub>-N túlsúlya az év átlagát tekintve kereken 6-szoros a NO<sub>3</sub>-N mennyiségéhez képest. A melegebb május, június, július hónapokban az NH<sub>4</sub>-N koncentrációja 10–20-

3. táblázat. A csapadék mennyisége, vezetőképessége, pH, Ca, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, S, Na és K koncentrációk, illetve az elemhozamok alakulása 2007-ben (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Hónapok 2007-ben (1)	Csapadék mm (2)	Vezető- képesség μS/cm (3)	pH	Ca	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	S	Na	K
				Koncentráció, mg/l (4)					
I.	18	105	5,8	3,6	2,6	1,3	3,0	7,9	1,4
II.	38	39	5,1	2,2	1,9	0,9	1,1	1,9	0,5
III.	36	57	5,3	1,1	3,1	1,7	2,3	1,1	1,4
IV.	–	–	–	–	–	–	–	–	–
V.	84	151	6,2	2,7	11,9	0,9	2,5	1,6	5,2
VI.	45	131	6,0	1,4	12,4	0,6	1,3	0,8	2,5
VII.	22	220	7,0	4,5	15,0	1,3	4,4	4,3	11,0
VIII.	97	56	6,6	0,9	3,3	1,0	1,2	1,1	1,4
IX.	36	51	5,6	0,9	3,0	1,0	1,1	1,0	1,2
X.	52	77	5,8	1,6	5,0	1,0	2,6	0,7	2,7
XI.	61	51	5,7	0,9	3,3	0,7	1,1	0,6	1,6
XII.	59	29	5,6	0,5	1,4	0,6	0,6	1,3	0,3

  

Hónapok 2007-ben (1)	Csapadék mm (2)	Vezető- képesség μS/cm (3)	pH	Ca	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	S	Na	K
				Elemhozam, kg/ha (5)					
I.	18	105	5,8	0,6	0,5	0,2	0,5	1,4	0,2
II.	38	39	5,1	0,8	0,7	0,3	0,4	0,7	0,2
III.	36	57	5,3	0,4	1,1	0,6	0,8	0,4	0,5
IV.	–	–	–	–	–	–	–	–	–
V.	84	151	6,2	2,3	10,0	0,7	2,1	1,3	4,4
VI.	45	131	6,0	0,6	5,6	0,3	0,6	0,4	1,1
VII.	22	220	7,0	1,0	3,3	0,3	1,0	0,9	2,4
VIII.	97	56	6,6	0,9	3,2	1,0	1,2	1,1	1,3
IX.	36	51	5,6	0,3	1,1	0,4	0,4	0,4	0,4
X.	52	77	5,8	0,8	2,6	0,5	1,4	0,4	1,4
XI.	61	51	5,7	0,6	2,0	0,4	0,7	0,4	1,0
XII.	59	29	5,6	0,3	0,8	0,3	0,4	0,7	0,2
Év össz. (6)	548	–	–	8,7	30,9	5,1	9,5	8,1	13,2

Megjegyzés: április csapadéktelen hónap volt. A vezetőképesség éves átlagban 94 μS/cm, a pH 5,8 volt.

Table 3. Amount, electrical conductivity, pH, concentrations of Ca, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, S, Na and K of the monthly precipitation as well as element yield in 2007 (Calcareous chernozem loamy soil, Nagyhörcsök, Mezőföld region). (1) Months in 2007, (2) Precipitation, (3) Conductivity, (4) Concentration, (5) Element yield, (6) Yearly. Note: No precipitation occurred in April.

szorosa a  $\text{NO}_3\text{-N}$  koncentrációjának, decemberre ez az arány 2–2,5-szeresére szűkül.

Az ammónia kibocsátása 1980 és 2000 között 60%-kal csökkent hazánkban. A kibocsátás zöme, 94–98%-a mezőgazdasági eredetű. Forrásai a szerves trágyázás, N-műtrágyázás, állattartó telepek, valamint a kommunális szennyvizek és szeméttelpek (KSH 2003a). Nálunk a visszaesés mögött döntően a N-műtrágyázás, állattenyésztés és a szerves trágyázás 1990 óta bekövetkezett csökkenése áll. Északnyugat Európa 1990 óta intézkedéseket hozott a légköri szennyezés ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ) mérséklésére. Így pl. Hollandia is korlátozta az állatsűrűséget, bevezette az istállók levegőjének szűrését, előírta a trágyalé közvetlen injektálását a talajba, a szerves trágya adagját maximálta és kijuttatását csak vegetációs időben engedélyezi. Közbülső időszakban az istállótrágya/trágyalé zárt, fedett helyen tárolható (Boxman et al. 2008).

Ismeretes, hogy a mezőföldi telepünkhöz hasonló karbonátos talajokon az  $\text{NH}_4\text{-N}$  formát tartalmazó N-műtrágya jelentős ammónia veszteséget szenvedhet. A telep mellett szarvasmarha hizlalása, tenyésztése is folyik. A környező mezőgazdasági művelt talajok  $\text{NH}_3$  emissziója szintén jelentős lehet a tavaszi/nyári időszakban, amikor a baktériumok tevékenysége intenzív a jól szellőzött humuszos meszes csernozjomokon. A talajfelszín tehát döntő emittáló faktor az emberi, gazdálkodási tevékenységgel együtt. A keleti irányból érkező szelek Dunaujváros és a kőolajfinomítók, a nyugati irányból érkezők pedig Székesfehérvár és Veszprém légszennyező hatását tükrözhetik esetenként, melyre főként a kiülepedő S utalhat.

2008. I. félévében mért adatok szerint a csapadékvíz pH-ja folyamatosan nőtt január és július között. Januárban viszonylag kicsi a  $\text{NH}_4\text{-N}$  és K lúgosító kationok koncentrációja, viszont jelentős a savanyító  $\text{NO}_3\text{-N}$  és S mennyisége az egész vizsgált félévben. Júniusra a meghatározó Ca kiülepedés 13-szorosára, az  $\text{NH}_4\text{-N}$  kiülepedése 45-szörösére ugrott, miközben a  $\text{NO}_3\text{-N}$  hozama érdemben nem változott. A S mennyisége is többszörösére emelkedett ezzel együtt, így a csapadékvíz pH-ja júniusban is 6 alatt maradt. A csapadék mennyisége extrém módon ingadozott és nem mutatott egyértelmű összefüggést a vezetőképességgel vagy a pH-értékkel (4. táblázat).

A 2005–2008. között mért légköri talajterhelés mértékéről, illetve jellemzőiről az 5. táblázat nyújt áttekintést félévenkénti bontásban a vizsgált 26 paraméterre. Duna-Tisza közén található Órbottyán Kísérleti Telepünkön 2006. február és március hónapok csapadékában egy nagyságrenddel ugrott meg a Ca, Mg, Na, Sr koncentrációja. Emellett nagy  $\text{NH}_4\text{-N}$ , S és Zn ülepedést is re-



4. táblázat. *A havi csapadékösszeg, vezetőképesség, pH, Ca, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, S, Na és K koncentrációk, illetve az elemhozamok 2008-ban (Mezőföld, mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök)*

Hónapok 2008-ban (1)	Csapa- dék mm (2)	Vezető- képesség μS/cm (3)	pH	Ca	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	S	Na	K
				Koncentráció, mg/l (4)					
I.	11	79	4,8	3,0	3,1	1,7	9,9	0,7	0,5
II.	4	94	5,0	2,5	4,8	1,8	10,0	ny	ny
III.	50	79	5,4	1,5	3,3	0,9	6,4	ny	2,6
IV.	18	288	5,6	7,4	21,3	2,1	11,7	ny	10,0
V.	30	321	5,7	4,8	30,2	1,1	11,0	ny	6,2
VI.	82	190	5,9	4,8	16,7	0,7	7,4	ny	2,8

  

Hónapok 2008-ban (1)	Csapa- dék mm (2)	Vezető- képesség μS/cm (3)	pH	Ca	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	S	Na	K
				Elemhozam, kg/ha (5)					
I.	11	79	4,8	0,3	0,3	0,2	1,1	0,1	0,1
II.	4	94	5,0	0,1	0,2	0,1	0,4	0,0	0,0
III.	50	79	5,4	0,8	1,6	0,4	3,2	0,0	1,3
IV.	18	288	5,6	1,3	3,8	0,4	2,1	0,0	1,8
V.	30	321	5,7	1,5	9,1	0,3	3,3	0,0	1,9
VI.	82	190	5,9	3,9	13,7	0,6	6,0	0,0	2,3
Össz. (6)	195	–	–	7,9	28,8	2,0	16,1	0,1	7,4

ny: nyomokban

*Table 4.* Amount, electrical conductivity, pH, concentrations of Ca, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, S, Na and K of the monthly precipitation as well as element yield in 2008 (Calcareous chernozem loamy soil, Nagyhörcsök, Mezőföld region). (1) Months in 2008, (2) Precipitation, (3) Conductivity, (4) Concentration, (5) Element yield, (6) Total. Ny: not detectable.

gisztráltunk. Mindez visszavezethető volt a Váci Cementgyár emissziójára és a kedvezőtlen szélirányra. A pH elérte a 7,0 értéket, elektromos vezetőképesség pedig közelített a 2000 μS/cm értékhez. Az éves elemhozamok tekintélyes mennyiségnek adódtak: 60 kg/ha Ca; 48 kg/ha N; 21 kg/ha S; 16 kg/ha K és Mg; 13 kg Na; 5–6 kg/ha P. A mikroelemek közül kiemelhető a Zn 1391 g/ha; Sr 202 g/ha; Cu 153 g/ha; Pb 7 g/ha; As 4 g/ha; Cr 3 g/ha mennyiséggel.

5. táblázat. Léggöri talajterhelés az Órbottyán Kísérleti Telepen  
(Duna-Tisza köze, 2005–2008)

Mért jellemző (1)	Mérték- egység (2)	2005-ben		2006-ban		2007-ben		2008-ban	
		II. félév (3)	I. félév (4)	II. félév (5)	I. félév (4)	I. félév (5)	II. félév (5)	Együtt (6)	I. félév (4)
NO <sub>3</sub> -N	kg/ha	10,7	2,5	7,5	10,0	9,0	10,9	19,9	4,3
NH <sub>4</sub> -N	kg/ha	5,7	24,0	14,0	38,0	5,2	4,3	9,5	9,2
Összes-N (7)	kg/ha	16,4	26,5	21,5	48,0	14,2	15,2	29,4	13,5
Ca	kg/ha	8,0	54,5	5,6	60,1	10,3	3,0	13,3	8,6
K	kg/ha	6,0	8,9	7,6	16,5	3,1	3,2	6,3	3,1
S	kg/ha	5,8	18,4	2,7	21,1	0,1	2,1	2,2	0,0
Na	kg/ha	3,0	12,1	1,2	13,3	2,4	1,7	4,1	0,8
Mg	kg/ha	2,8	14,4	1,4	15,8	1,7	0,7	2,4	1,3
P	kg/ha	1,2	2,9	2,7	5,6	1,8	0,7	2,5	1,5
Zn	g/ha	430	1 091	300	1 391	239	25	264	67
Ba	g/ha	60	63	16	79	33	15	40	15
B	g/ha	0	0	26	26	0	0	0	10
Sr	g/ha	27	190	12	202	27	8	35	24
Cu	g/ha	33	30	123	153	15	6	21	10
Mn	g/ha	21	30	32	62	26	11	37	26
Fe	g/ha	14	40	4	44	79	40	119	2

(Az 5. táblázat folytatása a következő oldalon)

(Az 5. táblázat folytatása)

Mért jellemző (1)	Mértékegység (2)	2005-ben		2006-ban			2007-ben			2008-ban	
		II. félév (3)	I. félév (4)	I. félév (4)	II. félév (5)	Együtt (6)	I. félév (4)	II. félév (5)	Együtt (6)	I. félév (4)	II. félév (5)
Ni	g/ha	9,8	3,8	0,0	2,4	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cd	g/ha	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0
Mo	g/ha	1,3	1,5	1,0	1,0	2,5	0,6	0,4	1,0	0,5	0,5
As	g/ha	0,0	4,2	0,0	0,0	4,2	0,0	2,7	2,7	0,0	0,0
Cr	g/ha	0,0	3,0	0,0	0,0	3,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0
Pb	g/ha	0,0	6,3	0,4	0,4	6,7	3,8	0,0	3,8	0,0	0,0
Se	g/ha	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Co	g/ha	0,0	0,7	0,0	0,0	0,7	0,2	0,4	0,6	0,0	0,0
Hg	g/ha	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2
Csapadék (8)	mm	406	313	210	210	523	239	227	466	273	273
pH minimum		5,2	6,0	4,7	4,7	4,7	4,2	4,3	4,2	5,0	5,0
pH maximum		6,8	7,0	6,7	6,7	7,0	7,2	6,7	7,2	5,9	5,9
Átlag (9)		6,1	6,5	5,6	5,6	6,0	5,4	5,9	5,5	5,4	5,4
EC minimum	µS/cm	30	47	53	53	47	54	25	25	26	26
EC maximum	µS/cm	179	1996	243	243	1996	140	80	140	149	149
Átlag (9)	µS/cm	71	504	135	135	320	82	52	68	61	61

Table 5. Atmospheric deposition to soil at the Órbottyán Experimental Station (Danube-Tisza mid region, 2005–2008). (1) Soil characteristics, (2) Unit, (3) 2005 July–December, (4) January–June, (5) July–December, (6) Total, (7) Total N, (8) Precipitation, (9) Mean.

Ez a termőhely N, P és K elemekben egyaránt szegény. Agronómiai szempontból fontos az évente talajt gazdagító 25–50 kg/ha körülire becsülhető N-depozíció, valamint 6–10 kg/ha K, illetve 2–4 kg/ha P ülepedése évente. Az 1960 óta folyó „örökrozs” műtrágyázási kísérletünkben a PK kezelések termése növekvő, mely korábbi véleményünk szerint is a légköri N-ülepedésre vezethető vissza (Kádár *et al.* 1984, Lásztity *et al.* 1993). Szárazabb, kedvezőtlenebb években a kalászosok szemtermése általában 2 t/ha alatt marad, N-hatásokat nem kapunk. A talaj N-szolgáltatását ilyenkor a légköri N ülepedése biztosíthatja. A mikroelemek közül a Zn és a Cu utánpótlása figyelemre méltó, hiszen ezen a Zn és Cu elemekkel rosszul ellátott termőhelyeken a légköri ülepedés teljes körűen fedezheti az itt elérhető közepes termések Zn és Cu elemigényét. Az esetenkénti savanyú csapadék nemkívánatos hatását a légköri Ca, Mg, Na elensúlyozhatja.

A 6. táblázat a mezőföldi kísérleti telep légköri talajterheléséről informál. Megállapítható, hogy az összes éves N-terhelés a 36 kg/ha mennyiséget is elérheti. Általában meghatározó az  $\text{NH}_4\text{-N}$  túlsúlya, mely a  $\text{NO}_3\text{-N}$  mennyiségéhez képest 3–14-szeres lehet. A makroelemeket tekintve a K 13–14 kg/ha; S 6–16 kg/ha; Na 7–8 kg/ha; Ca 6–9 kg/ha; P 4–5 kg/ha; Mg 2–3 kg/ha éves maximumokkal jellemezhető. Növényélettani, agronómiai szempontból jelentős lehet a légköri makroelem-pótlás, amennyiben az oldható formában kihulló esszenciális elemek mint levéltrágyák teljeskörűen hasznosulhatnak ideális esetben.

Közepes, 10 t/ha légszáraz földfeletti termésű őszi árpa, melynek kb. fele a szemtermés fele a melléktermés, ezen a talajon az alábbi elem mennyiséget építette be testébe: N 102 kg; K 133 kg; P és S 25 kg; Ca 24 kg; Mg 18 kg; Na 2 kg/ha (Kádár 2003). A légköri terhelés tehát fedezhette volna a felvett K 10; Mg 15; P 20; Ca és N 30; S 40 és a Na 350–400%-át. Mivel kombájn betakarításnál a melléktermés a táblán marad és visszakerül a talajba, csak a szembe épült elemek kivont tömegével számolhatunk. Ebben az esetben a légköri tápelem-pótlás aránya megnő, hisz a szemtermésbe mindössze 30 kg K; 20 kg P; 8 kg Mg; 6 kg S; 2 kg Ca és 240 g Na épült be. A légköri forrás fedezhetné a P 25, K 45%-át, míg a S és Ca 100–300%-át, a szembe épült Na mennyiségét pedig a légköri terhelés nagyságrenddel haladhatja meg.

Ami az esszenciális és egyéb mikroelemeket illeti, az 5 t/ha körüli őszi árpa szemtermése 305 g Fe; 125 g Mn; 90 g Al; 60 g Zn; 15 g Cu; 10 g Sr és Ba; 9 g B; 5 g Se; 1–2 g Mo és Ni; 0,5 g Co és Cr elemet tartalmazott. Az Pb, Hg, Cd toxikus nehézfémek mennyisége 0,1 g/ha kimutatási határ alatt maradt.

6. táblázat. Légköri talajterhelés az Nagyhőrcsöki Kísérleti Telepen (Mezőföld, 2005–2008)

Mért jellemző (1)	Mértékegység (2)	2005-ben		2006-ban			2007-ben		2008-ban	
		II. félév (3)	I. félév (4)	I. félév (4)	II. félév (5)	Együtt (6)	I. félév (4)	II. félév (5)	Együtt (6)	I. félév (4)
NO <sub>3</sub> -N	kg/ha	ny	6,3	1,3	7,6	2,2	2,9	5,1	2,0	
NH <sub>4</sub> -N	kg/ha	ny	16,4	11,3	27,7	17,9	13,0	30,9	28,8	
Összes-N (7)	kg/ha	ny	22,7	12,6	35,3	20,1	15,9	36,0	30,8	
Ca	kg/ha	3,9	3,0	3,3	6,3	4,8	3,9	8,7	7,9	
K	kg/ha	10,8	5,4	8,6	14,0	6,4	6,8	13,2	7,4	
S	kg/ha	4,5	3,1	3,1	6,2	4,5	5,0	9,5	16,1	
Na	kg/ha	6,3	3,7	3,5	7,2	4,2	3,9	8,1	0,1	
Mg	kg/ha	1,7	1,0	1,3	2,3	1,5	1,4	2,9	1,8	
P	kg/ha	4,8	2,2	1,7	3,9	2,3	2,3	4,6	3,4	
Al	g/ha	157	0	62	62	70	35	105	89	
Zn	g/ha	68	71	42	113	54	58	112	101	
Ba	g/ha	28	42	19	61	36	15	51	35	
B	g/ha	0	8	25	33	17	12	29	0	
Sr	g/ha	24	13	17	30	25	19	44	25	
Cu	g/ha	42	9	77	86	33	10	43	17	
Mn	g/ha	24	15	18	33	27	18	45	39	
Fe	g/ha	7	18	24	42	20	33	53	32	

(A 6. táblázat folytatása következő oldalon)

(A 6. táblázat folytatása)

Mért jellemző (1)	Mérték- egység (2)	2005-ben		2006-ban		2007-ben		2008-ban		
		II. félév (3)	I. félév (4)	II. félév (5)	I. félév (4)	II. félév (5)	I. félév (4)	Együtt (6)	I. félév (4)	
Ni	g/ha	1,0	0,5	0,0	0,5	0,3	4,6	0,3	4,9	0,8
Cd	g/ha	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2
Mo	g/ha	0,0	5,4	1,0	6,4	0,2	0,0	0,2	0,2	0,1
As	g/ha	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,5	0,5	0,0
Cr	g/ha	0,0	0,6	3,0	3,6	0,0	3,1	0,0	3,1	6,4
Pb	g/ha	0,0	5,6	0,1	5,7	1,5	0,0	1,5	1,5	1,9
Se	g/ha	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Co	g/ha	0,0	0,4	0,0	0,4	0,1	0,6	0,1	0,7	0,1
Hg	g/ha	0,0	0,0	1,5	1,5	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0
Csapadék (8)	mm	462	253	222	473	327	221	327	548	195
pH minimum		5,0	5,6	5,1	5,1	5,6	5,1	5,6	5,1	4,8
pH maximum		6,2	6,7	5,8	6,7	7,0	6,2	7,0	7,0	5,9
Átlag (9)		5,8	6,1	5,4	5,8	6,0	5,7	6,0	5,9	5,4
EC minimum	µS/cm	32	23	46	23	39	39	39	29	79
EC maximum	µS/cm	175	71	145	145	220	151	220	220	321
Átlag (9)	µS/cm	99	47	107	77	81	97	81	89	175

ny-nyomokban

Table 6. Atmospheric deposition to soil at the Nagyhorcsók Experimental Station (Danube-Tisza mid region, 2005–2008). (1) Soil characteristics, (2) Unit, (3) 2005 July–December, (4) January–June, (5) July–December, (6) Total, (7) Total N, (8) Precipitation, (9) Mean, Ny: not detectable.

A Fe, Mn, Al talajalkotó nem szennyező elemek, tárgyalásuktól eltekinthetünk. A légköri ülepedés lényegében fedezhette a Se, Mo, Ni elemek szembe épült mennyiségét. A Zn szükségletét mintegy 60%-kal meghaladhatta. A B, Cu, Sr, Ba elemek terén pedig a kiülepedés többszöröse a szem elemkészletének. Jelenlegi ismereteink szerint előnyösnek minősülhet a Zn, Se, Mo, Cu elemekben való talajgazdagodás, amennyiben a talaj ezen elemekben nem (Zn, Cu) vagy nem kellően (Se, Mo) ellátott. Nemkívánatos jelenség viszont a talaj Pb, Hg és Cd elemekben való dúsulása, különösen hosszútávon. Takarmány és élelmiszer növények felületére, illetve a vizekbe jutva ezek a toxikus nehézfémek közvetlenül is károsíthatják az élelmiszerláncot.

A 7. táblázatban áttekintést adunk a légköri csapadékkal okozott talajterhelés mértékéről irodalmi és saját eredményeink alapján. A bemutatott adatok arra utalnak, hogy egy vagy akár két nagyságrendbeli különbségek is adódhatnak az egyes elemek kiülepedése tekintetében a vizsgált makroelemeknél, amennyiben a háttérszennyezést és az extrém ipari területeket, tenger melléki tájakat vetjük össze. A saját kísérleti telepeinken mért elemterhelések lényegében összecsengenek a korábbi hazai mérések eredményeivel. A magyar adatok közepes szennyezésről tanúskodhatnak nemzetközi viszonylatban. A változatos hazai talajfelszín, gazdálkodási gyakorlat, ipar és közlekedés, települések, szelek hatása nyomán időben és térben nagy eltérések fordulhatnak elő. A csapadékvíz pH-ja is az erősen savanyú 4,2 értéktől a semleges/lúgos tartományig terjedhet.

Az általunk mért mikroelemek közül a Zn, Mn, Fe, Cu, Pb, Ni, Cd és Co összevethető *Mészáros et al.* (1993) korábbi eredményeivel (8. táblázat). A szomszédos Ausztriában *Sager* (2008) adatai is iránymutatóul szolgálhatnak. A Zn, Mn, Fe, Cu elemek kiülepedése többé-kevésbé közelálló az idézett két szerző által közöltekkel. A B ülepedése illeszkedhet *Chojnaczk* (1970) által megadott 30 g/ha/év mennyiséghez. A Ba, Sr és Mo ülepedését tekintve nincs összehasonlítási alapunk, míg a Hg esetén *Anderson* (1992) által megadott érték szintén tájékoztathat. Szembetűnő, hogy az Pb, Ni, Cd, Co nehézfémek kiülepedése telepeinken általában nagyságrenddel kisebb, mint a korábban *Mészáros et al.* (1993) által mért kiülepedés.

A Környezetvédelmi Minisztérium és a Központi Statisztikai Hivatal közlése szerint a környezetszennyező mikroelemek kibocsátásának indexe 1980 és 2000 között az alábbi mértékben csökkent: Ni 46; Hg 52; V 53; Zn 59; Cu 61; Cd 64; Se 67; Cr 70; As 74; Pb 94%-kal.

7. táblázat. Légköri csapadékkal okozott talajterhelés irodalmi és saját adatok alapján.  
Makroelemek, kg/ha/év

Mért jellemző (1)	Saját kísérleti telepek (2)	Chojnaczi (1970)	In: Kozák és Mészáros (1971)	Kozák és Mészáros (1971)	Horváth és Mészáros (1984)
NO <sub>3</sub> -N	5–20	3–540 <sup>xx</sup>	0–55	2–14	1–9
NH <sub>4</sub> -N	10–31	4–21	1–53	1–19	6–26
Összes-N (3)	30–48	6–540 <sup>xx</sup>	3–55	5–33	–
Ca	6–60	1–217 <sup>xx</sup>	1–84	6–67	10–45
K	6–16	1–12	0–40	2–15	2–13
S	2–21	2–84 <sup>xx</sup>	1–114	9–39	11–35
Na*	4–13	2–5	1–54	2–27	3–22
Mg	2–16	1–21 <sup>xx</sup>	0–17	–	2–3
P	2–6	0–1	0–3	–	–
pH	4,2–7,0	4,4–7,2	–	4,3–5,8	4,5–5,8

\*A norvég tengerparton 257 kg/ha/év Cl és 148 kg/ha/év Na kiülepedést is mértek (Kozák és Mészáros 1971). <sup>xx</sup> Szennyezett ipari területek.

Table 7. Aerial wet deposition to soil according to literature and experimental data. Macroelements, kg/ha/year. (1) Soil characteristics, (2) Experimental Stations data, (3) Total N. \* At the Norwegian seacoast even 257 kg/ha/year Cl and 148 kg/ha/year Na deposition was measured. <sup>xx</sup> Polluted industrial areas.

Hasonló változások történtek egész Európában részben a környezetvédelmi intézkedések, illetve részben a korábbi „szocialista” iparágak összeomlása miatt. Mérséklődött ennek eredményeképpen a határokon átívelő légköri terhelés is. Ezeket a mérgező nehézfémeket főképpen a magas hőmérsékletű égési folyamatok során a kohászat, fémfeldolgozás, kerámia- és vegyipar juttatja a légkörbe. Az Pb és vegyületei károsítják az ér- és idegrendszer, Hg és vegyületei vese-, bőr- és idegrendszer, az As, Cr, Ni vegyületei rákkeltők stb. Az energiatermelés, közlekedés termelte a Ni és V, valamint az Pb és As jelentős részét (KSH 2003a, b; KVM 2002).



8. táblázat. *Léggöri csapadékkal okozott talajterhelés saját és irodalmi adatok alapján*  
*Mikroelemek, g/ha/é*

Vizsgált jellemző (1)	Saját kísérleti telepek (2)	Mészáros et al. (1993)	Sager (2008)	Gray et al. (2003)	Anderson (1992)
Zn	112–1391	160–230	183–1284	432–1714	110
Ba	40–79	–	–	–	–
Sr	30–202	–	–	–	–
Mn	33–62	25–44	–	–	66
Fe	42–119	150–390	–	–	–
Cu	21–153	24–55	8–110	13–65	12
B	0–33	–	–	–	–
Pb	2–4	74–84	35–186	7–73	35
Ni	0–6	7–22	8–43	4–21	3
Cd	0,0–0,3	4,5–5,7	0,6–3,0	0,1–0,4	1,1
Cr	0,3–6,4	–	1,9–12,4	6,9–54,9	1,6
As	0,0–4,2	–	2,8–17,9	–	3,0
Mo	0,2–6,4	–	–	–	–
Co	0,4–0,7	2,3–3,1	–	–	–
Hg	0,0–1,5	–	–	–	0,3

Megjegyzés: *Chojnacski* (1970) 30 g/ha/év B ülepedéssel számol.

*Table 8.* Aerial wet deposition to soil according to literature and experimental data. Microelements, g/ha/year. (1) Soil characteristics, (2) Experimental Stations data. Note: *Chojnacski* (1970) calculates with 30 g/ha/year B deposition.

### Köszönetnyilvánítás

A kutatás a 49042 és 68665 sz. OTKA, valamint a CRO-13/2006 sz. pályázat eredményeként az NKTH és a KPI támogatásával jött létre, mely támogatás forrása a Kutatási és Technológiai Innovációs Alap.

### IRODALOM

- Anderson, A.*: 1992. Trace elements in agricultural soils. Fluxes, balances and background values. Swedish Env. Prot. Agency. Report 4077. Uppsala. 1–40.
- Bozó, L.–Horváth, Zs.*: 1992. Atmospheric concentration and budget of Pb and Cd over Hungary. *Ambio*. 21: 324–326.

- Boxman, A. W.-Roy, C. J. H.-Peters, J.-Roelofs, G. M.*: 2008. Long-term changes in atmospheric N and S throughfall deposition and effects on soil solution chemistry in scots pine forest in the Netherlands. *Environmental Pollution*. 156: 1252–1259.
- Chojnaczk, A.*: 1970. The content of mineral components in atmospheric precipitation in relation to natural and economical conditions of Poland. *Polish J. of Soil Science*. 3: 39–46.
- Chojnaczk, A.-Zórawska, B.*: 1980. The content of mineral N in soils and yields of plants as indicator of the atmospheric pollution in Pulawy region. [In: Spáleny, J. (ed.) *Proc. of the 3<sup>rd</sup> Int. Conf. of Bioindications.*] Academia. Praha. 181–187.
- Deller, B.*: 1988. 100 Jahre Bodenuntersuchung in VDLUFA. Bedeutung, Probleme, Erfolge. *VDLUFA-Schriftenreihe*. 28: 191–213.
- Gray, C. W.-Mclaren, R. G.-Roberts, A. H. C.*: 2003. Atmospheric accessions of heavy metals to some New Zealand pastoral soil. *Sci. of Total Environment*. 305: 105–115.
- Horváth, L.-Mészáros, E.*: 1984. The composition and acidity of precipitation in Hungary. *Atmospheric Environment*. 18: 1843–1847.
- Kazay E.*: 1904. A légköri csapadék kémiai analysise. *Időjárás*. 8: 301–306.
- Kádár I.*: 1992. A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet. Budapest.
- Kádár I.*: 1995. A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. *KTM-MTA TAKI*. Budapest.
- Kádár I.*: 2003. Mikroelemterhelés hatása az őszi árpára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. 52: 105–120.
- Kádár I.*: 2005. A talaj és a tápláléklánc szennyeződése. [In: Antal K. et al. (szerk.) *Talajvédelem Különszám.*] Talajvédelmi Alapítvány. SZIE. Gödöllő. 129–137.
- Kádár I.-Szemes I.-Lásztity B.*: 1984. Az „évhatás” és a tápláltság összefüggése őszi rozs tartamkísérletben. *Növénytermelés*. 33. 2: 235–241.
- Kozák M.-Mészáros E.*: 1971. Magyarországi csapadékvizek kémiai összetétele és mezőgazdasági jelentősége. *Agrokémia és Talajtan*. 20: 329–352.
- KSH*: 2003a. Magyarország környezetterhelési mutatói: Központi Statisztikai Hivatal, Környezetvédelmi Minisztérium. Budapest.
- KSH*: 2003b. Magyarország környezeti állapota nemzetközi összehasonlításban. Központi Statisztikai Hivatal. Budapest.
- Kucharski, R.-Marchwinska, E.-Gzyl, J.*: 1994. Agricultural policy in polluted areas. *Ecological Engineering*. 3: 299–312.
- KvM*: 2002. Adatok hazánk környezeti állapotáról. Környezetvédelmi Minisztérium Környezetgazdálkodási Igazgatósága. Budapest.
- Lásztity B.-Szemes I.-Radics L.*: 1993. Műtrágyahatások vizsgálata rozs monokultúrában. *Agrokémia és Talajtan*. 42: 309–324.
- Liebig, J. von (1840–1876) (szerk. Kádár I.)*: 1996. Kémia alkalmazása a mezőgazdaságban és az élettanban. MTA TAKI Budapest.
- Mansfield, T. A.-Freer-Smith, P. H.*: 1981. Effects of urban air pollution on plant growth. *Biol. Rev.* 56: 343–368.

- Mészáros E.–Molnár Á.–Horváth Zs.*: 1993. A mikroelemek légköri ülepedése Magyarországon. *Agrokémia és Talajtan*. 42: 221–228.
- Mészáros E.*: 2005. Hogyan fedezték föl a levegőt? Adalékok a légkör kutatásának történetéhez. *Magyar Tudomány*. 426–437.
- Molnár, Á.–Mészáros, E.–Bozó, L.*: 1993. Elemental composition of atmospheric aerosol particles under different conditions in Hungary. *Atmospheric Environment*. 27A. 15: 2457–2461.
- MSZ ISO 5667–10*: Magyar Szabvány. *Vízminőség, Mintavétel*. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest. 1995.
- Munger, J. W.*: 1982. Chemistry of atmospheric precipitation in the N-C US: Influence of SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub> and calcareous soil particulates. *Atmospheric Environment*. 16: 1633–1645.
- Nriagu, J. O.–Pacyna, J. M.*: 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*. 333: 134–139
- Nriagu, J. O.*: 1989. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. *Nature*. 338. 47–49.
- Odén, S.*: 1979. The sulphur budget of Sweden during this century. *Nordic Hydrology*. 155–170.
- Ross, H. B.*: 1987. Trace metals in precipitation in Sweden. *Water, Air and Soil Pollution*. 36: 349–363.
- Sager, M.*: 2008. Macro- and microelements of mineral fertilizers sold in Austria. Kézirat. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet. Budapest. 11.
- Saussure, de Th.*: 1804. A növények kémiai kutatása. Kecskeméti Főiskola Nyomda Kecskemét. 2004.
- Shewchuk, S. R.*: 1982. An acid depositin perspective for N-E Alberta and N-Saskatchewan. *Water, Air and Soil Pollution*. 18: 413–419.
- Sillanpää, M.*: 1990. Micronutrient assessment at the country level: an international study. *FAO Soils Bulletin N. 63*. Rome.
- Warda, Z.–Chojnacki, A.–Pasternacki, J.*: 1980. The content of Zn, Pb and S in soil and plants in lysimeter experiments as indicators of atmospheric pollution in zinc metallurgy region. [In: Spáleny, J. (ed.) *Proc. of the 3<sup>rd</sup> Int. Conf. of Bioindications.*] *Academia*. Praha. 403–410.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Dr. Kádár Imre–Koncz József–Ragályi Péter  
MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet  
Budapest  
Herman O. u. 15.  
H-1022