

# A CSAPADÉKVÍZ KÉMIAI ÖSSZETÉTELÉNEK JELENTŐSÉGE A LÉGKÖR SZENNYEZŐDÉS VIZSGÁLATÁBAN

KOZÁK MÁTYÁS

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

MÉSZÁROS ERNŐ

OMSZ Központi Légekfizikai Intézet, Budapest

Korunkban, mint az közismert, az urbanizáció fokozott előre haladásával, a nagymértékű iparosítással, a közlekedés ugrásszerű fejlődésével egyre több, a bioszférát mérgező anyag kerül a légkör különböző szintjeibe. Ezek jelentős része a csapadék útján visszakerül a légkörből a talaj felszínére, a természetes és kultúrvegetációra, műtárgyakra, épületekre stb. A csapadék kémiai összetétele kimosási tevékenysége következtében megváltozik, jelzi a légkört szennyező kémiai anyagok mennyiségét és minőségi megoszlását. A csapadékvíz kémiai összetételének megváltozása függ a szennyező források távolságától, a szennyező források erősségétől is. Ez azonban nem jelenti azt, hogy csak a bioszférát szennyező források közvetlen közelében halmozódhatnak fel különböző kémiai anyagok a légkörben és a csapadékvízben. A mesterséges szennyező források, az antropogén tényezők (sűrűn lakott területek, ipari centrumok, közlekedés stb.) hatása gyakran a szennyező gócotól távol is kimutatható, és megnöveli az adott terület ún. háttér koncentrációját a csapadékvíz mintákban. Ebben az esetben a szennyező források közvetett hatásáról beszélhetünk.

A légkör az állandó összetevőin kívül, a légkör egész tömegéhez viszonyítva kis koncentrációban különböző gáznemű, szilárd és cseppfolyós (aeroszol részecskék) halmazállapotú kémiai anyagot tartalmaz. Ezek eredete a már említett mesterséges források mellett részben természetes forrásokra is visszavezethető. A természetes források közül az óceánok, tengerek felszíne, a vulkanikus tevékenység, a talajfelszín és a kozmikus por a legjelentősebbek. A természetes és mesterséges forrásokból származó kémiai anyagok mennyisége jelentős mértékben megnövekedne a légkörben, ha különböző természetes folyamatok, elsősorban a csapadékhullás útján el nem távozhatnának.

A csapadék kimosási tevékenysége a felhők alatti légtérre is kiterjed. A légkörben levő aeroszol részecskének mint kondenzációs magvakon lejátszódó felhőképződési folyamatok, melyek során további részecskék és nyomgázok adés abszorbeálódnak, valamint a csapadék kimosási tevékenysége azt eredményezi, hogy a talajra hulló csapadékvíz számos vízben oldódó és oldhatatlan anyagot tartalmaz [JUNGE (1963)]. Így a csapadékvíz kémiai összetételének mérésével megítélhetjük a légkör alsó rétegeinek szennyezettségi fokát és a

napjainkban egyre nagyobb jelentőségű légkör-szennyeződés kutatások számára nyerhetünk hasznos adatokat.

A vizsgálatok ipari jelentőségét jelzi az ipari centrumok közelében mért csapadékvíz analitikai adatok fontossága a korrózió védelemben. A légkör és így a csapadékvíz kéntartalma a szennyező gócok közelében annyira megnövekedhet, a csapadékvíz pH értéke néha olyan mértékben tolódhat el a savas tartomány irányába, hogy már mint híg kénsav hatásával kell számolnunk. Egy ilyen mértékű légköri szennyeződés már nemcsak az élővilágot veszélyezteti, hanem a szabadtéri műtárgyakban, az elektromos vezetékálózatban stb. is súlyos korróziós károkat okozhat.

A csapadékvíz kémiai összetételének vizsgálata mezőgazdasági, ezen belül talajtani és agrokémiai szempontból is jelentős adatokat szolgáltat. A mesterséges szennyező gócok közelében a természetes és kultúrvegetációt közvetlenül károsító, mérgező hatás is kimutatható, a szennyező forrásoktól távolabbi területeken viszont a csapadékvíz háttér koncentrációja a növények ásványi táplálkozásában is szerepet játszhat [KOZÁK—MÉSZÁROS (1971)].

Az említett néhány példa is jelzi a csapadékvíz kémiai összetételének jelentőségét és az elméleti megfontolásokon túlmenően e gyakorlati okok miatt is a világ különböző részén számos mérést végeztek. Az összefoglaló munkák közül ERIKSSON (1952) és JUNGE (1963) összeállítását emeljük ki.

Az ipari körzetek és a városok, sűrűn lakott területek közelsége valamennyi összetevő mennyiségét fokozza, ez a hatás mégis elsősorban a csapadék útján a talaj felszínére kerülő kén mennyiségében szembetűnő. Az I. táblázatban WHITEHEAD (1964) nyomán, kiegészítve GERICKE (1957), SCHARRER (1951) és ROSSI (1968) adataival, bemutatjuk a szennyezett ipari körzetekben és a mezőgazdasági területeken mért csapadékvíz-minták kéntartalmát. Az ipari centrumok közelében a kéntartalom meghaladja az évi 100 kg S/ha szintet, ez az érték a gyárak közvetlen, néhány kilométeres körzetében még sokkal nagyobb is lehet. Ez a nagy kéntartalom már közvetlenül károsíthatja az élővilágot, egyes esetekben a növényzet kipusztulásához vezethet. A növények kén-ellátottsága szempontjából a csapadékvíz mérsékelt (10–30 kg/ha) kéntartalma kedvező, fontos szerepet játszik a természetes és kultúrvegetáció kénfelvételében. Magyarországon a mezőgazdasági területeken 8 állomáson mért hároméves adataink szerint [KOZÁK—MÉSZÁROS (1971)] a csapadékvíz kéntartalma 23–24 kg S/ha körül ingadozik.

Az ipari körzetek közelében a csapadékvíz nitrogéntartalma is megnő; olasz adatok szerint [NUCCIOTTI—ROSSI (1968)] eléri az évi 40 kg N/ha értéket, a mezőgazdasági területek 6–10 kg N/ha/év nitrogén szintjével szemben. A salétromsav-üzemek közvetlen közelében (néhány km-es körzetében) gyakran megfigyelhető a növényzet teljes vagy részleges kipusztulása a légkör és a csapadékvíz nagy salétromsav (nitrogén-oxid) tartalma miatt. SELEZNEVA (1963) adatai szerint a csapadékvíz évi összes ásványi szennyezettsége a Szovjetunió

## I. táblázat

A csapadékvíz kéntartalma mezőgazdasági és ipari körzetekben

Hely	Mezőgazdasági körzetek kg S/ha/év	Ipari körzetek kg S/ha/év
Nagy-Britannia		
Portishead	14,5	
St Helens		74,4
Loch Katrine (Skócia)	11,6	
Németország (nyugat)		
Giessen	10–12	80
Dánia	9,6–13,4	114
Svédország	1,7–9,2	41,7
Olaszország	17–23	112
USA		
Michigan	8,0–12,5	
Indiana	20–33	127
Florida	5,4	

északi területei felett 10–15 mg/l, Ukrajnában és a Volga alsó szakasza mentén 20–25 mg/l, a sűrűn lakott részeken, városok, ipari centrumok közelében 60–70 mg/l, vagy még ennél is magasabb lehet.

A fémfeldolgozó gyárak közelében megnő a bioszféra, különösen a talaj, a növények és a csapadékvíz nehézfém-koncentrációja. A II. táblázatban GARBER (1970) adatai nyomán összehasonlíthatjuk a szennyezett, valamint normál talaj és néhány növény ólom-, cink- és réztartalmát. A szennyeződés következtében a talaj és növények nehézfém-tartalma százszorosára is növekedhet, az ilyen nagy fémkoncentráció gátolhatja a növények fejlődését. A növényekben felhalmozódott ólom, cink és réz az állati és emberi szervezetbe kerülhet, ahol súlyos mérgező hatást fejthet ki. Hasonló jellegű és mértékű szennyeződés mutatható ki a nagyforgalmú országutak mentén is. A gépkocsik üzemanyagában előforduló szerves ólomvegyületek következtében igen nagy lehet az országutak melletti talaj és növényzet ólomtartalma.

A csapadék útján a talaj felszínére kerülő kémiai anyagok mennyisége a kultúr- és természetes vegetáció tápanyagellátottsága szempontjából is fontos. A szennyező forrásoktól távoli mezőgazdasági területeken mérve a csapadék

## II. táblázat

A légköri szennyeződés hatása a talaj és növények nehézfém-tartalmára, ppm (Garber nyomán)

Nehézfém	Talaj		Növények			
	Normál	Szennyezett	Fenyőtű		Fű-félék	
			Normál	Szennyezett	Normál	Szennyezett
Ólom, Pb	68	300–2900	9–30	2342	10–12	1200
Cink, Zn	300	1800–14 300	5–150	4000	50–150	3000
Réz, Cu	30	100–6950	10–15	500	10–15	1500

kémiai összetételét meghatározhatjuk a levegőből származó, a növényzet fejlődésére hasznos vagy esetleg káros kémiai anyagok mennyiségét, minőségi megoszlását. A III. táblázatban bemutatjuk az ország 8 különböző helyén mért csapadékvíz-minták hároméves átlagadatait nyári (IV—IX.) és téli (III—X.) fél-éves megoszlásban. A mintavételi állomások helyét úgy választottuk meg, hogy közvetlen mesterséges szennyeződésnek ne legyenek kitéve (a Budapest-Lőrinc bázis állomást kivéve). A csapadék mennyisége a területegységre számított adatokat (kg/ha) növeli, szinte valamennyi vizsgált paraméternél a legnagyobb csapadékmennyiségek esetében mértük a maximumokat (l. Bősárkány). Hozzá kell tennünk azonban, hogy a csapadék mennyisége és a kémiai anyagok koncentrációja közötti összefüggés fordított.

A mintavételi helyek és évek átlagában 14,6 kg N/ha/év nitrogén kerül a talajra a csapadék útján. A nitrogén mennyisége csaknem azonosan oszlott meg a nyári és téli félévben a mintavételi helyek átlagában. A nitrogén nagyobbik része ammonium-N, az  $\text{NH}_4$ -nitrogén és nitrát (+ nitrit) nitrogén aránya megközelíti a 2:1 arányt; a mintavételi helyek átlagában 1,7:1. A nitrit-N tartalom alacsony, az összes nitrogén mindössze 1—2%-át (0,2 kg N/ha/év) teszi ki. A nitrogénértékek mintavételi hely szerinti ingadozása elég nagy; 8,0—22,6 kgN/ha/év között, a legkisebb nitrogén értékek az ország déli, délkeleti részén (Jakabszállás, Szarvas), a legnagyobbak a Dunántúlon alakultak ki. Az azonos helyen mért adatok éves ingadozása ennél kisebb és nagyjából követi a csapadék mennyiségének alakulását.

A csapadék nitrogéntartalma elsősorban a természetes vegetáció (l. erdők) nitrogénfelvétele szempontjából lehet jelentős. A talajok átlagos nitrogénvesztéseit becsülve feltételezhetjük, hogy a csapadék N-tartalma közelítőleg kiegyenlíti az évi N-vesztéseket.

A csapadékvízzel évente átlagosan közel 24 kg S/ha szulfát-kén kerül a talaj felszínére, valamivel nagyobbik része a nyári félévben. A hálózatunkban szerepelt 8 állomás közül 6 esetben nyári szulfát-kén maximumokat mértünk. Így az ipari-városi körzetek közvetett hatása, amely a körzetektől távoleső területeken jelentkezhet, csak a kén mennyiségének átlagos szintjét növeli. A nyári kén maximumok egyéb természetes forrásokra vezethetők vissza (talaj, növényzet). A csapadék kén-tartalma a tüzeléstechnika korszerűsítésével várhatóan csökkenni fog, mint arra SEAY (1957) felhívta a figyelmet. Az USA egyes körzeteiben megfigyelték, hogy a gáz-, olaj- és elektromos fűtés elterjedése már jelentősen csökkentette a csapadék kén-tartalmát.

A természetes és kultúr-vegetáció kénigénye számottevő, több növény esetében megközelíti és el is éri a foszforfelvétel mértékét. Ismerve a talajok aránylag kis felvehető kén-tartalmát, kivéve néhány szulfátban gazdag szikes-sós talajt, valószínűleg a szuperfoszfáttal talajba kerülő kén mennyisége mellett a csapadékvíz mint kénforrás is közrejátszik abban, hogy hazánkban eddig nem jelentkeztek kénhiány-tünetek a növényeknél.

A csapadék átlagosan 9,0 kg Cl/ha kloridot juttat évente a talaj felszínére. A tengerparthoz közeli állomásokon természetesen ennél jóval nagyobb klorid-tartalmat is mértek, a csapadék klórtartalma helyenként a 100–200 kg Cl/ha/év

## III. táblázat

A magyarországi légköri csapadékvíz kémiai összetétele, hároméves átlagadatok (kg/ha/év)

Mintavételi hely	Évszak	Csapadék mm	Nitrogén N	Kén S	Klorid Cl	Kalcium Ca	Nátrium Na	Kálium K
Bősárkány	nyár	509	9,5	13,4	5,1	16,4	2,9	4,7
	tél	424	13,1	19,4	9,1	28,2	12,5	4,7
	év	933	22,6	32,8	14,2	44,6	15,4	9,4
Varjakpuszta—Zics	nyár	283	9,2	10,7	4,1	11,0	2,0	3,8
	tél	190	7,1	9,2	3,5	8,6	2,8	1,7
	év	473	16,3	19,9	7,6	19,6	4,8	5,5
Budapest—Pestlőrinc	nyár	285	8,7	13,5	3,8	13,9	1,8	2,0
	tél	157	5,4	12,7	4,7	14,5	4,3	2,1
	év	442	14,1	26,2	8,5	28,4	6,1	4,1
Jakabszállás	nyár	256	4,8	10,2	3,5	19,4	3,8	3,3
	tél	95	3,2	4,6	2,0	8,8	1,7	1,6
	év	351	8,0	14,8	5,5	28,2	5,5	4,9
Piszkéstető	nyár	296	7,4	14,7	6,2	17,0	3,1	4,8
	tél	252	7,1	8,6	5,1	8,8	4,2	2,7
	év	548	14,5	23,3	11,3	25,8	7,3	7,5
Hortobágy—Halastó	nyár	213	7,8	19,9	7,7	18,4	13,1	7,2
	tél	155	9,8	11,1	3,4	14,3	6,7	3,3
	év	368	17,6	31,0	11,1	32,7	19,8	10,5
Szarvas—Bikazug	nyár	360	4,4	10,6	4,7	13,8	5,3	3,9
	tél	108	6,2	8,9	3,4	7,5	6,4	3,2
	év	468	10,6	19,5	8,1	21,3	11,7	7,1
Aranyosapáti	nyár	270	4,2	10,0	3,1	13,3	1,1	2,3
	tél	232	8,8	11,3	3,0	10,3	3,7	2,6
	év	502	13,0	21,3	6,1	23,6	4,8	4,9
Mintavételi helyek átlaga	nyár	309	7,0	12,9	4,8	15,4	4,1	4,0
	tél	202	7,6	10,7	4,2	12,6	5,3	2,7
	év	511	14,6	23,6	9,0	28,0	9,4	6,7

szintet is eléri [LÁC (1968)]. A kloridoknak nincs különösebb jelentősége a növények tápanyag-felvételében, nagyobb mennyiségben természetesen károsan hat a növények fejlődésére, de ez legfeljebb csak néhány tengerparti területen, illetve ipari körzetek közvetlen közelében képzelhető el.

A csapadék útján átlagosan évente 28,0 kg Ca/ha kerül a talaj felszínére, nagyobbik része a nyári félévben. A kalcium forrásai közül jelentős a talaj felszínéről származó por, erre mutatnak a nyári maximumok is. A talaj felszíne

csak részben tekinthető természetes „szennyező” forrásnak, mivel emberi beavatkozással, helytelen agrotechnikával a szennyező hatás nagy mértékben fokozható. Az így elrontott talajfelszín könnyen a defláció bázisává válhat, ahonnan a szél igen nagy mennyiségű port szállít a légkör különböző rétegeibe.

Közel 10 kg Na/ha kerül évente a talaj felszínére, átlagosan közel ugyanannyi, mint klorid. A tengerparti állomásokon 100 kg/ha-on felüli nátrium mennyiséget is mértek, mezőgazdasági területeken 3–10 kg/ha nagyságrendű a csapadék nátriumtartalma. A mintavételi helyek többségében téli maximum az uralkodó, kivéve a Hortobágy—Halastó állomást, ahol aránylag nagy mennyiségű, közel 20 kg/ha nátriumot mértünk jellegzetes nyári maximummal (13,1 kg Na/ha). Eredete visszavezethető az állomás környékén levő szikes talajok felszínéről származó por kémiai összetételére.

A csapadékvíz káliumtartalma általában alacsony, ritkán haladja meg a 10 kgK/ha/év szintet. A magyarországi csapadékvizek kálium „hozama” átlagosan 6,7 kg/K/ha évente, aminek legnagyobb része a nyári félévben kerül a talaj felszínére. A talajok átlagos káliumtartalmát és a felhasznált kálium-műtrágyák mennyiségét figyelembe véve a csapadékvíz mint kálium-tápanyagforrás nem játszhat fontos szerepet a növények kálium igényének kielégítésében. Talajtani szempontból a csapadékvíz káliumtartalma hozzájárulhat a talajok természetes káliumvesztéseinek csökkentéséhez.

A szakirodalomból vett példákkal és saját mérési adataink bemutatásával kívántuk érzékeltetni azokat az információs lehetőségeket, amelyekhez a csapadékvíz kémiai összetételének rendszeres mérésével juthatunk. Szükséges a vizsgálatok kiterjesztése a közvetlenül szennyezett területeken vett csapadékvíz-minták kémiai összetételének meghatározására is. Ezzel konkrét segítséget lehetne nyújtani és megfelelő kontrollt biztosítani a bioszféra védelme érdekében hozott és még megalkotásra váró intézkedésekhez, valamint ezek végrehajtásához. Az ember és környezetének védelme, az ezzel a fontos feladattal kapcsolatos tudományos kutatás ki kell hogy terjedjen a légkör kémiai és egyéb szennyezettségének vizsgálatára is, amihez a légköri csapadékvíz kémiai összetételének állandó rendszeres meghatározása és figyelemmel kísérése véleményünk szerint nélkülözhetetlen és sokoldalúan felhasználható információs anyagot szolgáltat.

#### IRODALOM

- ERIKSSON, E. (1952): Composition of atmospheric precipitation. I. Nitrogen compounds. II. Sulfur, chloride, iodine compounds. *Tellus* **4**, 215–232; 280–303.
- GARBER, K. (1970): Luftverunreinigung durch schwermetallhaltige Stäube — Wirkungen auf Pflanzen. *Sonderh. Landw. Forsch.* **25**, 59–68.
- GERICKE, S.—KURMIES, B. (1957): Pflanzennährstoffe in den atmosphärischen Niederschlägen. *Phosphorsäure* **17**, 279–300.
- JUNGE, C. E. (1963): *Air chemistry and radioactivity*. Academic Press. New York — London.
- KOZÁK M.—MÉSZÁROS E. (1971): A magyarországi csapadékvizek kémiai összetétele és mezőgazdasági jelentősége. *Agrokémia és Talajtan* **20**, 329–353.

- LÁG, J. (1968): Relationships between the chemical composition of the precipitation and the contents of exchangeable ions in the humus layer of natural soils. *Acta Agric. Scand.* **18**, 148—152.
- NUCCIOTTI, F.—ROSSI, N. (1968): Composizione chimico delle precipitazioni atmosferiche nella Regione Emiliana. II. Azoto, nitroso, nitrico, ammoniacale e fosforo. *Agrochimica* **12**, 540—548.
- ROSSI, N.—NUCCIOTTI, F. (1968): Composizione chimico delle precipitazioni atmosferiche nella Regione Emiliana. I. Zolfo. *Agrochimica* **12**, 240—250.
- SCHARRER, K.—FAST, H. (1951): Untersuchungen über die dem Boden durch die Niederschläge Zugeführten Pflanzennährstoffen. *Z. für Pfl. Ernährung, Düng., Bodenk.* **55**, (100) 97—106.
- SEAY, W. A. (1957): Sulfur contained in precipitation in Kentucky. *Agron. J.* **49**, 453—454.
- SELEZNEVA, E. S.—DROZDOVA, V. M. (1963): Chemical composition of atmospheric precipitation in the European USSR. *Trudy vsesoyuz. nauch. meteorol. Sovesh.* **5**, 56—63.
- WHITEHEAD, D. C. (1964): Soil and plant nutrition aspects of the sulphur cycle. *Soils Fertil.* **27**, 1—8.